

Министерство образования и науки Российской Федерации

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

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
№ 31

Научно-теоретический журнал

Издается с октября 2005 года
Выходит 4 раза в год

ISSN 2074-2762



Санкт-Петербург
2013

УДК 3 + 502.52 + 55

ББК 6/8 + 26.221 + 26.222 + 26.23

Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 31. Научно-теоретический журнал. – СПб.: РГГМУ, 2013. – 190 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 31. – St. Petersburg: RSHU Publishers, 2013. – 190 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.И. 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.

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2013
© Авторы публикаций, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Гидрология

<i>Румянцев В.А., Ефимова Л.К., Хон В.Ч.</i> Воспроизведение температурно-влажностного режима водосбора заполярного озера Имандра на базе моделей климата	7
<i>Кузьмин В.А., Соколова Д.В., Проданов Т.П., Принцевская Ю.В., Еремина С.В., Гаврилов И.С.</i> Оценивание гидрологических рисков на основе метода главных компонент	14
<i>Кузьмин В.А., Соломатин Д.П., Проданов Т.П., Рошет Н.А., Полякова А.А., Еремина С.В.</i> Программное обеспечение для ансамблевого моделирования и прогнозирования стока	23
<i>Кузьмин В.А., Проданов Т.П., Рошет Н.А., Полякова А.А., Симановская М.В., Гаврилов И.С.</i> Программное обеспечение MLCM2	31

Метеорология

<i>Ермакова Т.С., Ванкевич Р.Е., Колесников И.А.</i> Численное моделирование распространения дымовых аэрозолей за пределы пограничного слоя атмосферы	37
<i>Ермакова Т.С., Ванкевич Р.Е., Рудакова Ю.Л.</i> Оценка трехмерного пространственного распределения полей аэрозоля в районах интенсивного задымления от лесных пожаров на основе данных дистанционного зондирования из космоса	49
<i>Григорьева Е.А., Чичик Н.Я.</i> Временная динамика количества атмосферных осадков в Хабаровске	57
<i>Дружинин П.В.</i> Влияние климатических изменений на урожайность в сельском хозяйстве Карелии	65
<i>Тощаклова Г.Г.</i> Современные проявления климатических изменений температурного режима в Костромской области	74
<i>Смышляев С.П., Дикинис А.В., Моцаков М.А.</i> Численное моделирование изменчивости газового состава атмосферы в районах развитой транспортной инфраструктуры	82
<i>Смышляев С.П., Дикинис А.В.</i> Методология использования дистанционных измерений для анализа качества воздуха в зонах интенсивного загрязнения атмосферы	89
<i>Гусакова М.А., Карлин Л.Н.</i> Оценка влияния отдельных климатообразующих факторов на радиационные потоки в атмосфере и межгодовую изменчивость глобальной приповерхностной температуры воздуха	95

Экология

<i>Мандрыка О.Н., Шилин М.Б., Коузов С.А., Лукьянов С.В.</i> Современное состояние, разнообразие и уязвимость биологических сообществ Кургальского рифа	104
---	-----

<i>Коузов С.В., Шилин М.Б., Чусов А.Н.</i> Разнообразие и уязвимость орнито-фауны восточной части финского залива в районе морского газопровода «Нордстрим»	120
<i>Священников П.Н., Иванов Б.В., Говорина И.А.</i> Влияние промышленного загрязнения окружающей среды в окрестности пос. Баренцбург (арх. Шпицберген) на радиационные свойства снежно-ледяного покрова и атмосферы	138

Экономика

<i>Кузьмин В.А., Соколова Д.В., Полякова А.А., Принцевская Ю.В., Еремина С.В., Гаврилов И.С., Симановская М.В.</i> Оптимизация размещения объектов гидроэнергетики на основе оценивания теоретического гидроэнергетического потенциала рек и их гидрометеорологической уязвимости	144
<i>Клейменова А.В., Колосков Б.П., Корнеев В.П., Лозовой В.И., Акимова И.И.</i> Оценка эффективности производственных работ по искусственному увеличению осадков на этапе их планирования	150
<i>Михайлов В.В., Умывакин В.М., Драбенко В.А., Швец А.В., Воронин А.А.</i> Квалиметрическое моделирование интегральной оценки экологической опасности территорий природно-хозяйственных геосистем	162
<i>Гагулина Н.Л.</i> Эволюция концепций трансформации в экономической науке	170

Социально-гуманитарные науки

<i>Попова М.В.</i> Компетенции, компетентность и их формирование в учебном процессе: из опыта Дании	174
<i>Сечина К.А.</i> Мотивация к успеху как фактор развития профессиональной мобильности молодого специалиста в условиях современного рынка	180
Хроника	186
Список авторов	187
Требования к представлению и оформлению рукописей для авторов журнала	188

CONTENTS

Hydrology

<i>Rumyantsev V.A., Efimova L.K., Khon V.Ch.</i> Simulation of temperature-humidity regime of watershed f hight latitude lake Imandra by modern climate models	7
<i>Kuzmin V.A., Sokolova D.V., Prodanov T.P., Printsevskaya Y.V., Gavrilov I.S., Eremina S.V.</i> The hydrological risks assessment based on principal component analysis	14
<i>Kuzmin V.A., Solomatin D.P., Prodanov T.P., Roshet N.A., Polyakova A.A., Eremina S.V.</i> A software for the streamflow ensemble modelling and forecasting	23
<i>Kuzmin V.A., Prodanov T.P., Roshet N.A., A.A. Polyakova, Simanovskaya M.V., Gavrilov I. S.</i> The Multi-Layer Conceptual Model software (MLCM2)	31

Meteorology

<i>Ermakova T.S., Vankevich R.E., Kolesnikov I.A.</i> Numerical simulation of smoke aerosols beyond the atmospheric boundary layer	37
<i>Ermakova T.S., Vankevych R.E., Rudakova Y.L.</i> Evaluation of three-dimensional spatial field distribution of aerosol in the wild-fire smoke areas on the basis of remote sensing data	49
<i>Grigorieva E.A., Chichik N.Ya.</i> Temporal dynamics of precipitation in Khabarovsk	57
<i>Druzhinin P.V.</i> Climate change impacts on agricultural yields of Karelia	65
<i>Toshchakova G.G.</i> Modern climate change temperature in the Kostroma region	74
<i>Smyshlyaev S.P., Dikinis A.V., Motsakov M.A.</i> An atmospheric gaseous composition numerical modeling for the regions with numerous transport objects	82
<i>Smyshlyaev S.P., Dikinis A.V.</i> A methodology for remote observation usage for air quality analysis in the polluted regions	89
<i>Gusakova M.A., Karlin L.N.</i> The assessing the contribution of factors affecting climate change in atmospheric radiation fluxes and interannual changes in the global surface air temperature	95

Ecology

<i>Mandryka O.N., Shilin M.B., Kousov S.A., Lukyanov S.V.</i> Kurgalsky reef: modern state, biodiversity, and biocenosis vulnerability	104
<i>Kouzov S.V., Shilin M.B., Chusov A.N.</i> Variety and vulnerability of ornithofauna in the eastern part of the gulf of finland in the region of «Nord stream» sea gas pipeline	120
<i>Sviashchennikov P.N., Ivanov B.V., Govorina I.A.</i> Impact of environmental pollution near the settlement of Barentsburg (Spitsbergen Archipelago) on the radiation properties of snow-and-ice cover and atmosphere	138

Economics

<i>Kuzmin V.A., Sokolova D.V., Polyakova A.A., Printsevskaya Y.V., Eremina S.V., Gavrilov I.S., Simanovskaya M.V.</i> Optimization of hydropower facilities allocation based on assessment of rivers theoretical hydropower potential and their hydrometeorological vulnerability	144
<i>Kleimenova A.V., Koloskov B.P., Korneev V.P., Lozovoy V.I., Akimova I.I.</i> Evaluating the effectiveness of production works on artificial rain enhancement at the planning stage	150
<i>Mikhailov V.V., Umyakin V.M., Drabenko V.A., Shvets A.V., Voronin A.A.</i> The qualimetrical modelling of the itegral assessment of ecological danger of territories of natural and economic geosystems	162
<i>Gagulina N.L.</i> Evolution of transformation concepts of in economic science	170

Social Sciences and Humanities

<i>Popova M.V.</i> Competence and their use in the learning: Danish context	174
<i>Sechina K.A.</i> Motivation to succeed as a factor of development of the professional mobility of young specialist in the conditions of the modern market . .	180

Chronicle	186
----------------------------	-----

ГИДРОЛОГИЯ

В.А. Румянцев, Л.К. Ефимова, В.Ч. Хон

**ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО
РЕЖИМА ВОДОСБОРА ЗАПОЛЯРНОГО ОЗЕРА ИМАНДРА
НА БАЗЕ МОДЕЛЕЙ КЛИМАТА**

V.A. Rumyantsev, L.K. Efimova, V.Ch. Khon

**SIMULATION OF TEMPERATURE-HUMIDITY REGIME
OF WATERSHED F HIGHT LATITUDE LAKE IMANDRA
BY MODERN CLIMATE MODELS**

Выполнен анализ данных современной гидродинамической региональной модели климата RCA3 (Центр Россби, SMHI, Швеция), реализующей сценарий IPCC A1B и использующей глобальные гидродинамические модели климата ECHAM5 (Институт Макса Планка, Германия) и HadCM3 (Центр Хэдли, Великобритания) в качестве граничных условий для водосбора заполярного озера Имандра с привлечением соответствующих эмпирических данных. Обсуждаются изменения температуры приземного воздуха (T), атмосферных осадков (P), испарения (E), а также ($P-E$) в период 1961-2100 гг. в изучаемом водосборном бассейне озера Имандра, в том числе в будущем в связи с антропогенными изменениями глобального климата, обусловленными возрастанием эмиссий в атмосферу парниковых газов и аэрозоля.

Ключевые слова: водосбор, моделирование, температурно-влажностный режим, глобальные и региональные модели климата.

Analysis of data of hydrodynamic modern regional climate model RCA3 (Rossby Centre, SMHI, Sweden) with using global climate models ECHAM5 (Max Planc Institute, Germany) and HadCM3 (Centre Hadley, Great Britain) as boundary conditions, in accordance with IPCC scenario A1B and with using corresponding empirical data for watershed of high latitude lake Imandra was performed. Changes of surface air (T), precipitation (P), evaporation (E) and also ($P-E$) in period 1961-2100 including future anthropogenic global climate changes caused by increasing emissions of greenhouse gases and aerosol are discussed.

Key words: watershed, simulation, temperature-humidity regime, regional and global climate models.

Анализ модельных воспроизведений температурно-влажностных изменений на водосборе озера способствует решению ряда задач рационального природопользования, а также актуальной задачи лимнологии – оценке будущих водных запасов озер в связи с антропогенными изменениями глобального климата, обусловленными возрастанием эмиссий в атмосферу парниковых газов и аэрозоля. Для такого анализа модельных воспроизведений на сравнительно не-

большой территории водосбора озера наиболее подходящим достаточно совершенными теоретическими аппаратами являются, как известно, современные гидродинамические региональные модели климата, использующие в качестве граничных условий данные глобальных моделей климата. Современные гидродинамические региональные модели климата имеют очень детальное горизонтальное разрешение, что очень важно для корректного воспроизведения сложных моделируемых процессов на относительно небольшом по площади водосборе.

Современная успешная гидродинамическая региональная модель, широко известная достаточно адекватным воспроизведением климата в регионе, охватывающем Европу и часть Атлантического океана [2] разработана в Центре Россби SMHI (Шведский Метеорологический и Гидрологический Институт). В данной публикации рассмотрены модельные воспроизведения её усовершенствованной версии – RCA3. Глобальные гидродинамические модели климата ECHAM5 (Институт Макса Планка, Германия) [5] и HadCM3 (Центр Хэдли, Великобритания) [3] использованы в RCA3 в качестве граничных условий, при этом заметим, что по ряду показателей воспроизведений модели климата ECHAM5 и HadCM3 входят в число лучших глобальных моделей климата. В RCA3 воспроизведение изучаемых процессов осуществляется для временного интервала 1961–2100 гг. и предусмотрена выдача результатов, в отличие от её предыдущей версии, с дискретностью один год. Тридцатилетний период 1961–1990 гг. использован в качестве контрольного периода, после которого начинается учет антропогенных изменений глобального климата по сценарию IPCC [6, 7], в данной публикации рассмотрен сценарий IPCC антропогенного возрастания эмиссий парниковых газов и аэрозоля в атмосферу – A1B.

Для анализа температурно-влажностного режима водосбора озера Имандра рассмотрены: температура приземного воздуха (T), атмосферные осадки (P), испарение (E), а также важная составляющая водного баланса ($P-E$) – эффективное испарение, являющееся косвенным показателем водного запаса озер и способное репрезентативно отражать изменения водных запасов в будущем, поскольку его изменения влияют на сток в озеро и его уровень. Модельные данные в узлах сетки модели осреднялись по всем точкам, приходящимся на водосборный бассейн озера Имандра, с весами, пропорциональными широте. Данные модельных воспроизведений RCA3 температуры приземного воздуха и атмосферных осадков сопоставлялись с имеющимися для водосбора Имандры эмпирическими данными, что отражено на приводимых далее соответствующих рисунках.

Итак, многолетний ход среднегодовой температуры приземного воздуха за временной интервал 1961–2100 гг. по данным воспроизведения RCA3, осредненным для водосбора Имандры, представлен на рис. 1 совместно с имеющимися эмпирическими данными.

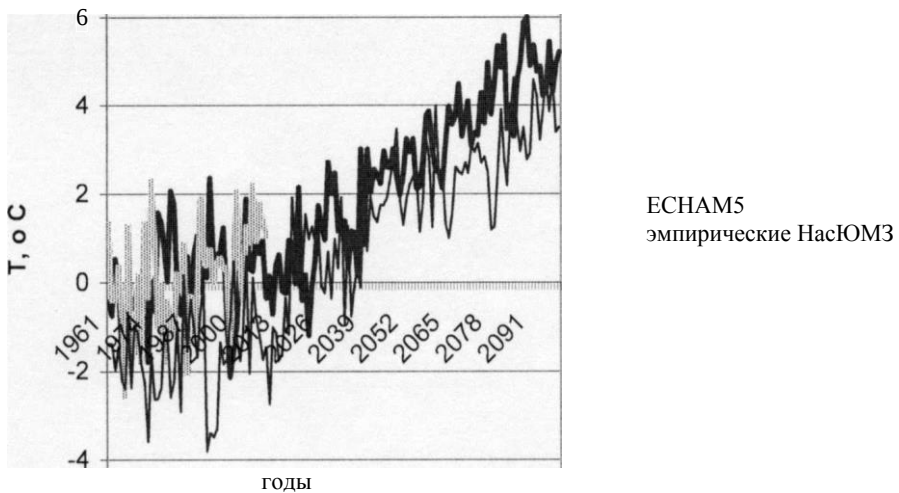


Рис. 1. Многолетний ход среднегодовой температуры приземного воздуха на водосборе озера Имандра по данным региональной модели RCA3 с граничными условиями гм ECHAM5 и HadCM3, сценарием IPCC A1B и по эмпирическим данным

Рис. 1 хорошо иллюстрирует для высокоширотного водосбора озера Имандра проявление эффекта глобального потепления, вызванного возрастанием антропогенных эмиссий в атмосферу парниковых газов и аэрозоля. Основная характерная черта воспроизведения среднегодовой температуры приземного воздуха заключается в тенденции её увеличения с 90-х годов XX в. вплоть до окончания нынешнего столетия. Эта тенденция воспроизводится RCA3 с применением граничных условий глобальных атмосферных моделей климата ECHAM5 и HadCM3, но использование ECHAM5 даёт несколько большее возрастание на водосборе приземной температуры воздуха в будущем. Так, увеличение среднего значения среднегодовой температуры приземного воздуха за тридцатилетний период 2071–2100 гг. составляет 4,5 °C с использованием граничных условий ECHAM5 и 3,52 °C с использованием граничных условий HadCM3 по сравнению с контрольным периодом 1961–1990 гг. Сопоставление с эмпирическими данными на водосборе озера Имандра указывает на их хорошее соответствие, что демонстрирует рис. 1.

Информация о воспроизведении RCA3 внутригодовой изменчивости температуры приземного воздуха содержится на рис. 2. На нем приведены результаты расчетов среднего годового хода температуры приземного воздуха на водосборе озера Имандра, воспроизведенной региональной моделью RCA3 с граничными условиями глобальных моделей климата ECHAM5 и HadCM3, средней за контрольный период 1961–1990 гг. и при реализации сценария IPCC возрастания антропогенных эмиссий парниковых газов и аэрозоля в атмосферу – A1B, средней за период 2071–2100 гг.

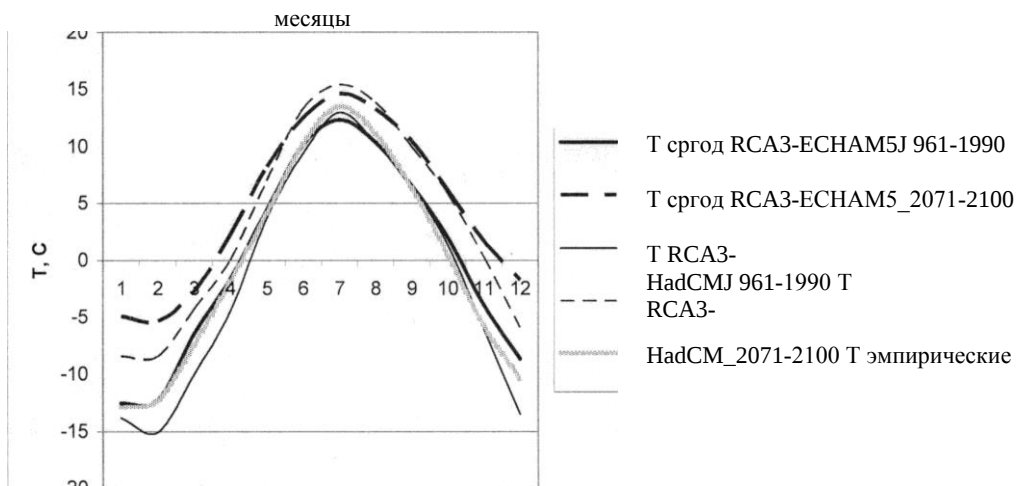


Рис. 2. Средний годовой ход температуры приземного воздуха на водосборе озера Имандра по данным региональной модели RCA3 с граничными условиями глобальных моделей климата ECHAM5 и HadCM3 для сценария IPCC - A1B и по эмпирическим данным

Согласно модельным данным, наиболее существенно среднемесячные температуры приземного воздуха на водосборе озера Имандра увеличиваются в зимние месяцы, а наименьшие их изменения происходят в летний период. В плане соответствия модельных данных эмпирическим можно отметить, что хорошее их соответствие для контрольного периода 1961–1990 гг. с января по июнь наблюдается для граничных условий ECHAM5, а в период с июня по сентябрь воспроизведение ECHAM5 несколько занижает среднемесячные значения температуры, а в ноябре и декабре – лишь немного завышает. В летние месяцы, сентябрь и октябрь хорошее соответствие эмпирическим данным наблюдается для граничных условий HadCM3, но с ноября же по апрель модельные расчеты с использованием граничных условий HadCM3 показывают заметное занижение температуры приземного воздуха в от ECHAM5. Диапазон изменений среднемесячных значений температуры приземного воздуха, средних за период 2071–2100 гг., также показан на рис. 2.

Суммируя, можно отметить, что и межгодовая изменчивость, и средний годовой ход температуры приземного воздуха воспроизводятся региональной моделью RCA3 достаточно адекватно, и результаты ее модельных расчетов можно рекомендовать в качестве сценарных оценок будущих изменений температуры приземного воздуха на водосборе озера Имандра.

Сложнее ситуация с воспроизведением моделями климата атмосферных осадков. Это связано главным образом с их большой изменчивостью в пространстве и времени, параметризациями процессов осадкообразования. В ряде работ по Ладожскому озеру [1] отмечалось наличие некоторой доли неопределенности в интерпретации годового хода при воспроизведении атмосферных

осадков. Есть и проблемы корректного сопоставления модельных осадков с эмпирическими данными. Результаты расчетов региональной моделью RCA3 многолетнего хода годовых сумм атмосферных осадков на водосборе озера Имандра за период 1961–2100 гг. представлены на рис. 3.

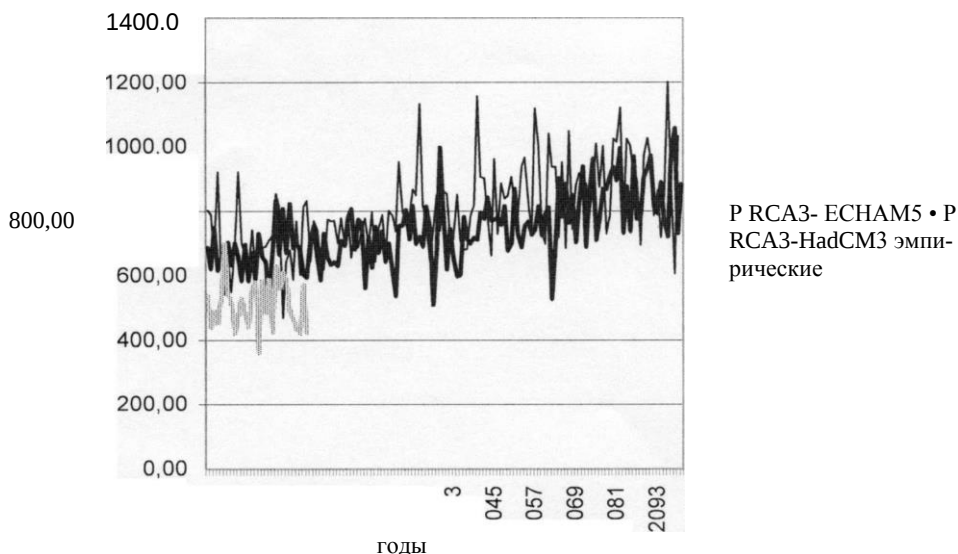


Рис. 3. Многолетний ход годовых сумм атмосферных осадков на водосборе озера Имандра по данным RCA3 с граничными условиями ECHAM5 и HadCM3 с использованием сценария IPCC A1B и по эмпирическим данным

Главное в воспроизведениях RCA3 на водосборе Имандры годовых сумм атмосферных осадков – это наличие тенденции их увеличения. Эта тенденция воспроизводится RCA3 с использованием обоих граничных условий глобальных моделей климата ECHAM5 и HadCM3. Соответствие модельных данных эмпирическим для контрольного периода 1961–1990 гг. удовлетворительно, но при этом воспроизведения RCA3 с обоими граничными условиями завышают годовые суммы атмосферных осадков. В количественном отношении увеличение годовых сумм атмосферных осадков в среднем за период 2071–2100 гг. на водосборе Имандры составляет 28 % с использованием граничных условий ECHAM5 и незначительно больше, 28,5 %, с использованием граничных условий HadCM3 по отношению к контрольному периоду 1961–1990 гг.

Обращают на себя внимание существенные амплитуды межгодовых колебаний годовых сумм осадков, свойственные воспроизведениям RCA3 с обоими граничными условиями.

Рассчитанный средний годовой ход месячных сумм атмосферных осадков, осредненных за два тридцатилетних периода (1961–1990 гг. и 2071–2100 гг.), по данным RCA3 с ., представлен на рис. 4.

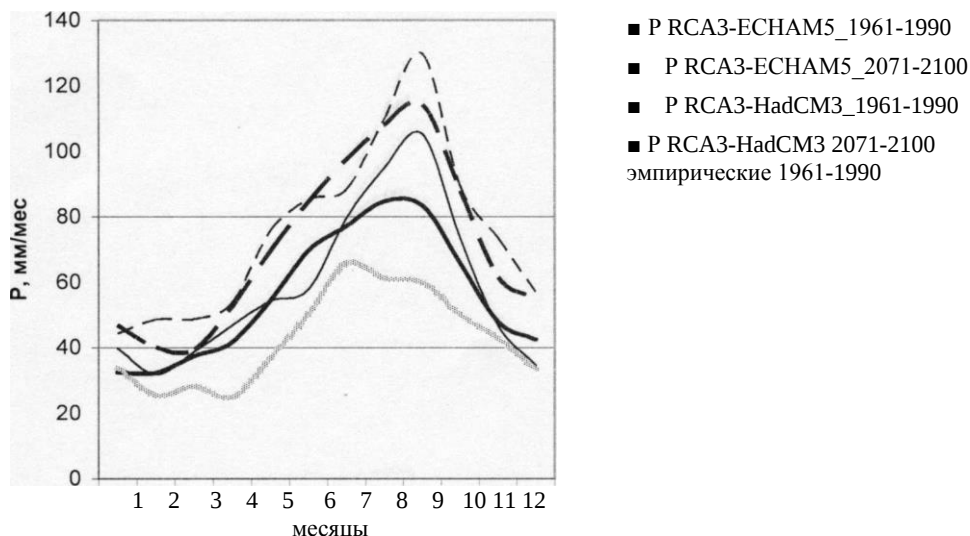


Рис. 4. Средний годовой ход месячных сумм атмосферных осадков, осредненных за два тридцатилетних периода 1961–1990 гг. и 2071–2100 гг., по данным региональной модели RCA3 с граничными условиями глобальных моделей климата ECHAM5 и HadCM3, для сценария IPCC-A1B и по эмпирическим данным на водосборе озера Имандра

Рис. 4 хорошо иллюстрирует значительную долю неопределенности в интерпретации среднего годового хода воспроизводимых атмосферных осадков.

Очевидно, что годовой ход атмосферных осадков воспроизводится RCA3, как, впрочем, и другими моделями климата, значительно менее успешно, чем температуры (рис. 2) и модельные оценки изменений осадков на водосборе озера Имандра в будущем с детализацией изменений их годового хода будут содержать известную долю неопределённости.

Что касается важной составляющей водного баланса (P-E) – эффективного испарения, то выполненный анализ многолетнего хода модельных воспроизведений RCA3 на водосборе Имандры годовых сумм (P-E) также выявляет тенденцию их увеличения, как и АО. Тенденция возрастания годовых сумм (P-E) воспроизводится RCA3 с использованием обоих граничных условий моделей климата ECHAM5 и HadCM3, при этом использование ECHAM5 приводит к несколько большему возрастанию годовых сумм (P-E). Согласно полученным количественным оценкам, увеличение (P-E) на водосборе Имандры при реализации сценария IPCC-A1B довольно значительно и составляет для периода 2071–2100 гг. 30 % с использованием модели климата HadCM3 и 33 % с использованием модели ECHAM5 в качестве граничных условий региональной модели RCA3 по сравнению с контрольным периодом 1961–1990 гг.

Поскольку в трактовке среднего годового хода атмосферных осадков по данным RCA3 содержится доля неопределенности, очевидно, и интерпретации годового хода (P-E) – разности годовых сумм осадков (P) и испарению (E) на

водосборе Имандры с детализацией внутригодовых изменений – тоже свойственна известная степень неопределенности. С учетом вышесказанного всё же заметим, однако, что по данным RCA3 для водосбора Имандры значения (P-E) положительны во все месяцы года, то есть дефицит воды не возникает ни в одном из месяцев года.

Учитывая полученные модельные данные RCA3 по воспроизведению многолетнего и среднего годового хода (P-E), можно отметить, что значения (P-E) на водосборе Имандры при реализации сценария IPCC-A1B возрастают, способствуя тем самым увеличению водных запасов озера Имандра.

Итак, выполненное исследование, проведенное впервые на базе современных моделей климата для водосбора озера Имандра, дало полезную существенную информацию об изменениях температурно-влажностного режима, недостаточно изученного водосбора этого заполярного озера, в том числе в будущем при антропогенных изменениях глобального климата, вызванных возрастанием эмиссий в атмосферу парниковых газов и аэрозоля.

Литература

1. Румянцев В.А., Ефимова Л.К., Голицын Г.С., Чон В.Ч. Вариации температурного и гидрологического режимов на водосборном бассейне Ладожского озера в XX и XXI вв. по данным современных моделей климата // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 2010, № 1, с. 26-34.
2. Bringfelt B., Raisanen J., Gollvik S., Lindstrom G., Graham L.L.P. and Ullerstig A. 2001. The land surface treatment for the Rossby Centre Regional Atmospheric Model – version 2(RCA2). SMHI Reports Meteorology and Climatology 98. 2001. 40 p.
3. Collins M., Tett S.F.B., Copper C. The internal climate variability of HadCM3 a version of the Hadley Centre coupled model without flux Adjustments // clim. Dyn., 2001, vol. 17, p. 61-81.
4. Doscher r., Willen U., Jones C., Tutgeresson A., Meier H.E.M., Hansson U. and Graham L.P. 2002. The development of the regional coupled ocean-atmosphere model RCAO // Boreal Environmental Res., 2002, vol. 7, p. 183-192.
5. Jungclaus J.H., Haak H., Latif M., et al. Arctic-Noth Atlantic interactions and multidecadal variability of the meridional overturning circulation // J. of climate, 2004, vol. 18 (19), p. 4013-4031.
6. Houghton J., Ding Y., Gtiggs D.J., Noquer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K. and Johnson C.A. Climate Change 2001: the Scientific Basis // Cambridge University Press, 2001. 881 p.
7. Nakicenovic N. And coauthors. Emission Scenatios. A special report of Worcing Group III of the Intergovermental panel on Climate Change // Cambridge University Press, 2000. 599 p.
8. Roeckner E., et al. The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part 1: Model description Rep. 349, Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg, Germany, 2003.

Данная работа выполнена при поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований (РФФИ), проект 10-05-00109.

*В.А. Кузьмин, Д.В. Соколова, Т.П. Проданов,
Ю.В. Принцевская, С.В. Еремина, И.С. Гаврилов*

ОЦЕНИВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ

*V.A. Kuzmin, D.V. Sokolova, T.P. Prodanov,
Y.V. Printsevskaya, I.S. Gavrilov, S.V. Eremina*

THE HYDROLOGICAL RISKS ASSESSMENT BASED ON PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS

В статье рассмотрен новый метод оценивания вероятностной компоненты гидрологических рисков на основе метода главных компонент, известного в англоязычной литературе как Principal Component Analysis (PCA) или Singular Spectrum Analysis (SSA). Этот метод обладает опцией обнаружения точек разладки (нарушения однородности и/или стационарности рассматриваемого гидрологического процесса) и опцией расчёта значений расходов или уровней воды заданной обеспеченности. Представленный в статье метод является главным функциональным элементом разработанной в РГГМУ автоматизированной системы «Vulnerability Assessment of Civil Engineering Structures» (АС «VACES-HS»), предназначенной для оценивания уязвимости гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: гидрометеорологическая уязвимость, гидрологические риски, вероятностная компонента риска, изменение климата, переменная антропогенная нагрузка, стационарность процесса, метод главных компонент, точки разладки, обеспеченность.

In this paper, a new method to assessing the probabilistic component of hydrological risks is considered. This method is based on Principal Component Analysis (PCA), a.k.a. Singular Spectrum Analysis (SSA). It includes two important options, such as (1) time series disorder detection and (2) computing water stages or discharges of certain exceedance probability. The presented method is implemented in an automated system recently developed in RSHU for Vulnerability Assessment of Civil Engineering Structures (VACES-HS).

Key words: hydrometeorological vulnerability, hydrological risks, probabilistic component of risk, climate change, variable human impact, process stability, Principal Component Analysis, disorders, exceedance probability.

Причина возрастания или изменения гидрометеорологических рисков, связанных с проектированием и эксплуатацией различных гидротехнических сооружений (ГТС) и определяемых изменением климата и переменной антропогенной нагрузкой – методологическая.

Практически все методы определения ОГХ основаны на предположении, что используемые ряды являются однородными и стационарными и направлены на построение кривых обеспеченностей, отражающих вероятность превышения тех или иных значений расходов или уровней воды [1–3]. В условиях изменения климата и переменной антропогенной нагрузки такое допущение нельзя считать обоснованным. Это означает, что реальная повторяемость катастрофического

паводка, учтённая при проектировании и строительстве ГЭС, составляет, например, не 1 раз в 100 лет, а 1 раз в 10–15 лет, поэтому плотина ГЭС или любое другое ГТС подвержены повышенному риску частичного повреждения или даже полного разрушения.

В 2013 г. в РГТМУ была разработана специальная многокомпонентная технология мониторинга, расчёта и прогнозирования гидрометеорологической уязвимости гидротехнических сооружений в условиях изменения климата и переменной антропогенной нагрузки [4], учитывающая мировые тренды в области математического моделирования гидрометеорологических процессов, перспективные разработки, выполненные специалистами РГТМУ и других ведущих российских исследовательских организаций, а также рекомендации Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) [5–14]. Эта технология реализована при помощи автоматизированной системы «VACES-HS» (от англ. «Vulnerability Assessment of Civil Engineering Structures», шифр HS идентифицирует назначение АС: Н – hydraulic (гидротехнический); S – small (малый)), предназначенной для мониторинга и оценивания гидрометеорологической уязвимости ГТС в условиях изменения климата и переменной антропогенной нагрузки и новых методов расчёта основных гидрологических характеристик, используемых при проектировании малых ГЭС [6].

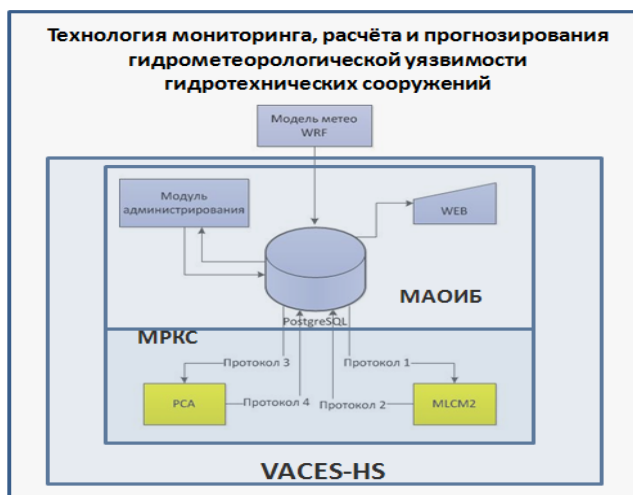


Рис. 1. Структурная схема разработанной многокомпонентной технологии мониторинга, расчёта и прогнозирования гидрометеорологической уязвимости гидротехнических сооружений в условиях изменения климата и переменной антропогенной нагрузки и её ключевых элементов – АС «VACES-HS» с модулями MAOIB и MPKC

Как показано на рис. 1, АС «VACES-HS» состоит из нескольких функциональных элементов: инструментария использования и управления данной АС через сеть Интернет или локальные сети, внешнего блока получения и обработки выходных данных синоптической модели WRF, базы данных (БД), модуля

администрирования и обеспечения информационной безопасности (МАОИБ) и модуля расчётов, контроля и статистики (МКРС). Блок МАОИБ является исключительно средством информационного обеспечения и управления блока МКРС, который включает два ключевых элемента:

- вновь разработанный метод специализированного гидрометеорологического обеспечения малой гидроэнергетики, оценивания гидрометеорологической уязвимости объектов малой гидроэнергетики в условиях изменения климата и переменной антропогенной нагрузки, включающий инструментарий для прогнозирования стока малых и средних водотоков, используемых для производства электроэнергии, и

- вновь разработанный метод расчёта основных гидрологических характеристик, используемых при проектировании малых ГЭС, с учётом изменения климата и переменной антропогенной нагрузки на речные водосборы.

Модуль МКРС, в свою очередь, состоит из двух основных функциональных элементов (рис. 2). Первый элемент предназначен для мониторинга и долгосрочного оценивания вероятностной компоненты гидрологических рисков на основе метода главных компонент, известного в англоязычной литературе как Principal Component Analysis (PCA) или Singular Spectrum Analysis (SSA). Он обладает двумя ключевыми опциями: опцией обнаружения точек разладки и опцией расчёта значений расходов или уровней воды заданной обеспеченности. На рисунке 1 этот элемент обозначен как «РСА».

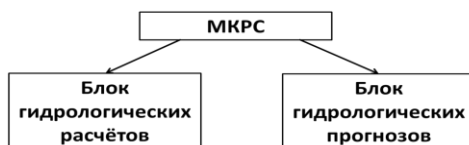


Рис. 2. Основные функциональные элементы блока МКРС

В АС «VACES-HS» расчёты выполняются в соответствии со следующим алгоритмом:

1) Пользователь выбирает, с какой основной гидрологической характеристикой он будет работать. У него есть базовых шесть вариантов:

Переменная	Минимальные	Средние	Максимальные
Расходы воды, м ³ /с	Q_min	Q_ave	Q_max
Уровни воды, см	H_min	H_ave	H_max

Кроме этого, пользователь может выбрать любой другой ряд гидрометеорологических наблюдений, например, данные о среднемесячных осадках. Это может быть исключительно полезно для оценивания метеорологических и климатических факторов изменения гидрологических рисков [13].

2) Выбираются параметры расчёта, необходимые для решения конкретной расчётной задачи, например, «Максимальные» + «Расходы воды» + «07812699» (код водосбора).

- 3) Запускается программа расчёта (в рамках блока «РСА»), которая:
- рассчитывает для ряда критерии Стьюдента и Фишера и выдаёт заключение о его однородности и стационарности (или неоднородности и нестационарности);
 - выполняет расчёт первого начального, второго центрального и третьего центрального моментов для всего ряда, которые поступают в базу данных (БД);
 - рассчитывает, например, расходы заданных обеспеченностей;
 - выполняет обнаружение точек разладки;
 - выполняет анализ устойчивости статистик для выделенных интервалов и выполняется оценивание моментов для неоднородного и нестационарного ряда, на основании которых выполняет расчёт расходов заданных обеспеченностей;
 - выполняет построение двух графиков: один соответствует обычному, общепринятому способу расчёта расходов воды заданных обеспеченностей, другой – способу определения расходов заданных обеспеченностей в условиях изменения климата и переменной антропогенной нагрузки на речные водосборы;
 - определяет разность значений расходов для одних и тех же обеспеченностей, которая с этого момента начинает называться «гидрометеорологической уязвимостью гидротехнического сооружения» (если первый график расположен ниже второго, то генерируется оповещение: изменение климата привело к росту уязвимости; если наоборот, то уязвимость снизилась) [7].

Автоматизация определения основных гидрологических характеристик достигается путем формализации всех шагов выполнения расчёта (в отличие от методов, рекомендуемых действующим Сводом Правил «Определение основных расчетных гидрологических характеристик», СП 33-101-2003, предполагающих выполнение экстраполяции расходов или уровней малой обеспеченности вручную), что позволяет реализовать предлагаемый подход в виде компьютерной программы и избавиться от субъективизма ныне применяемого подхода [1–3].

Таким образом, разработанный способ определения основных гидрологических характеристик для неоднородных и нестационарных рядов наблюдений за речным стоком заключается в загрузке данных наблюдений за расходом или уровнем воды из базы данных или отдельного файла, определении точек разладки (то есть точек нарушения однородности и/или стационарности) методом главных компонент [9]. Обнаружение точки разладки выполняется на основе метода главных компонент, при реализации которого выполняется декомпозиция исходного временного ряда на некоторое число главных компонент, анализ их стохастических свойств и, наконец, восстановление временного ряда по выбранным (обычно наиболее информативным) компонентам. Далее выполняется определение трёх младших моментов (первого начального, второго центрального и третьего центрального) для каждого участка между точками разладки. Расчёт трёх младших моментов (первого начального, второго центрального и третьего центрального) осуществляется по общеизвестным и широко используемым формулам для моментов, представленным в справочниках по статистике и

вероятностным расчётам. На следующем этапе производится определение статистических параметров изменчивости моментов (наименьшее и наибольшее значения указанных моментов, их диапазон и среднее квадратическое отклонение) всех интервалов временного ряда между его началом, точкам разладок и концом. После этого определяются стохастические характеристик временного ряда: для характеристик минимального стока – параметры (моменты) распределения вероятности минимальных расходов или уровней, для максимального – параметры (моменты) распределения вероятности максимальных расходов или уровней; кроме того, определяется средняя длина интервала между точками разладки, иллюстрирующая среднее время стабилизации гидрологического процесса. Далее осуществляется расчёт расходов и/или уровней воды заданных обеспеченностей (вероятностей превышения) для неоднородных и/или нестационарных временных рядов гидрометрических наблюдений, характерных для условий изменения климата и переменной антропогенной нагрузки на водосбор рассматриваемой реки [8].

Значения расходов воды малой обеспеченности широко используются при проектировании инженерных гидротехнических сооружений и любых инженерных объектов, находящихся вблизи от водоёмов или водотоков. В рамках предлагаемого подхода расчёт обеспеченностей осуществляется на основе результатов расчёта указанных выше моментов (первого начального, второго центрального и третьего центрального) и выбранного пользователем теоретического распределения вероятности (например, трёхпараметрического гамма-распределения). Выбор теоретического распределения в общем случае зависит от специфики конкретной инженерной задачи; он может осуществляться методом наибольшего правдоподобия, методом наименьших квадратов и т.д., в зависимости от рекомендаций нормативной литературы, регламентирующей расчёт основных гидрологических характеристик для проектирования определённой категории инженерных сооружений [10]. На рис. 3 принципиальная схема реализации разработанного способа в АС «VACES-HS», а на рис. 4 – пользовательский интерфейс блока расчётов МКРС [14].

Краткосрочное прогнозирование стока выполняется следующим образом:

- 1) Протокол 1 (см. рис. 1) считывает данные об осадках, испарении и фактическом стоке.
- 2) Запускается модель MLCM2, рассчитывает расходы.
- 3) Эти расходы сравниваются с расходами заданных обеспеченностей, определёнными выше; определяется их обеспеченность.
- 4) Если обеспеченность меньше предопределённого порогового значения (например, 10%), выдаётся предупреждение.

На рис. 5 и 6 показан пользовательский интерфейс блока гидрологических прогнозов МКРС АС «VACES-HS»: на рис. 5 – вкладка загрузки данных и настройки программы пользовательского интерфейса блока гидрологических, а на рис. 6 – вкладка калибровки и настройки гидрологической модели MLCM2.

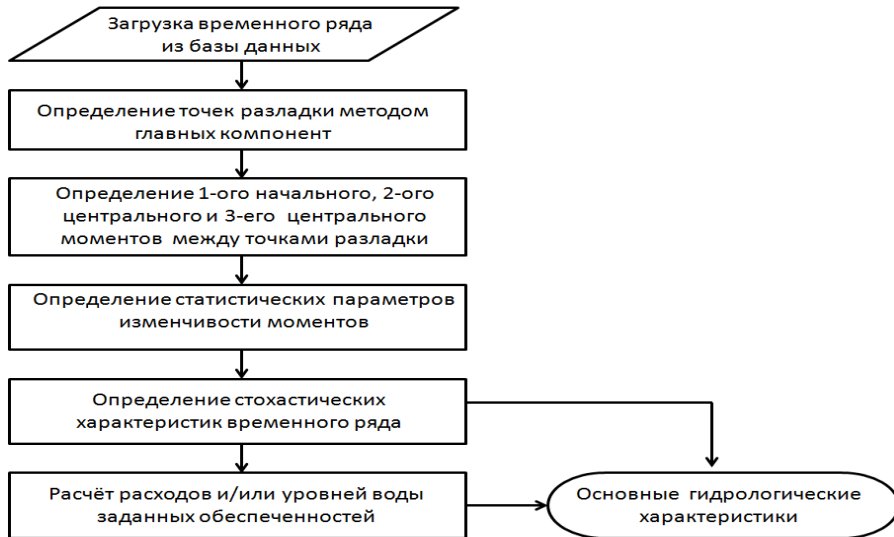


Рис. 3. Принципиальная схема разработанного способа определения расходов или уровней воды заданной обеспеченности, реализованного в АС «VACES-HS»

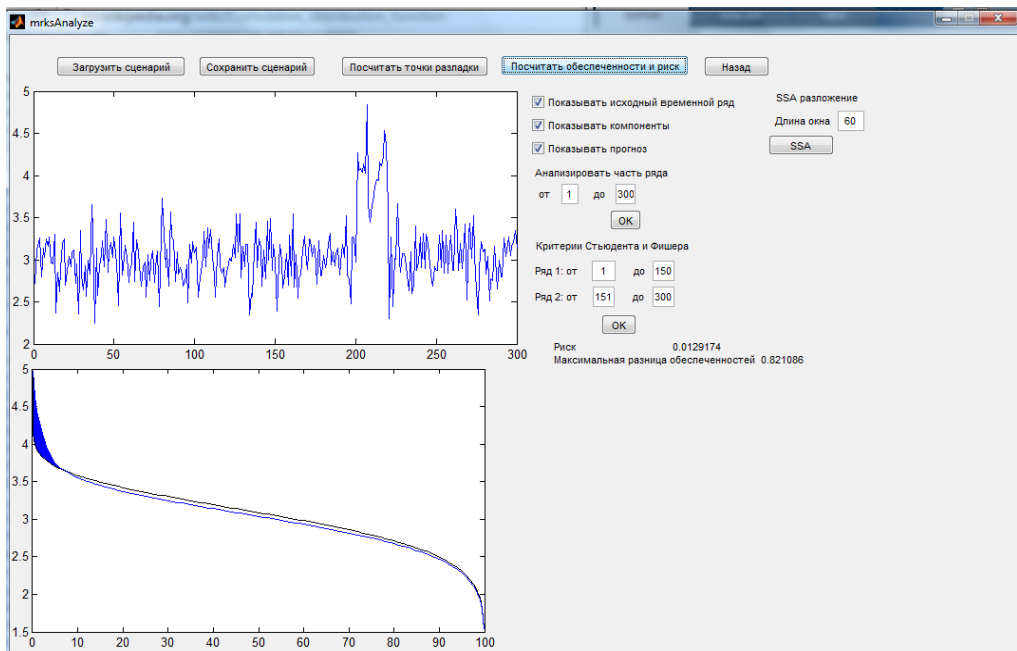


Рис. 4. Пользовательский интерфейс блока гидрологических расчётов МКРС АС «VACES-HS»

Разработанные методы позволяют повысить эффективность использования водных ресурсов и гидрометеорологическую безопасность гидротехнических сооружений гидроэнергетического профиля [12].

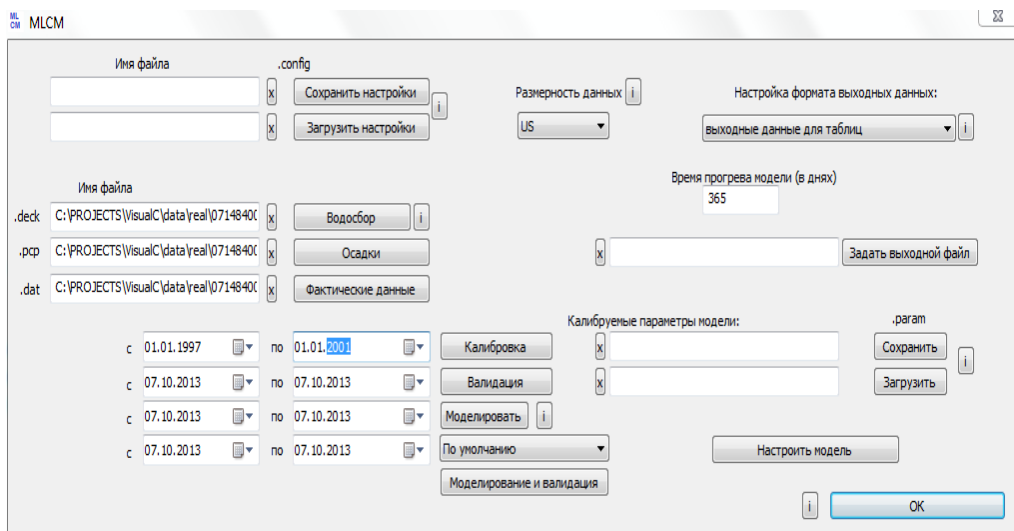


Рис. 5. Пользовательский интерфейс блока гидрологических прогнозов МКРС АС «VACES-HS»: вкладка загрузки данных и настройки программы.

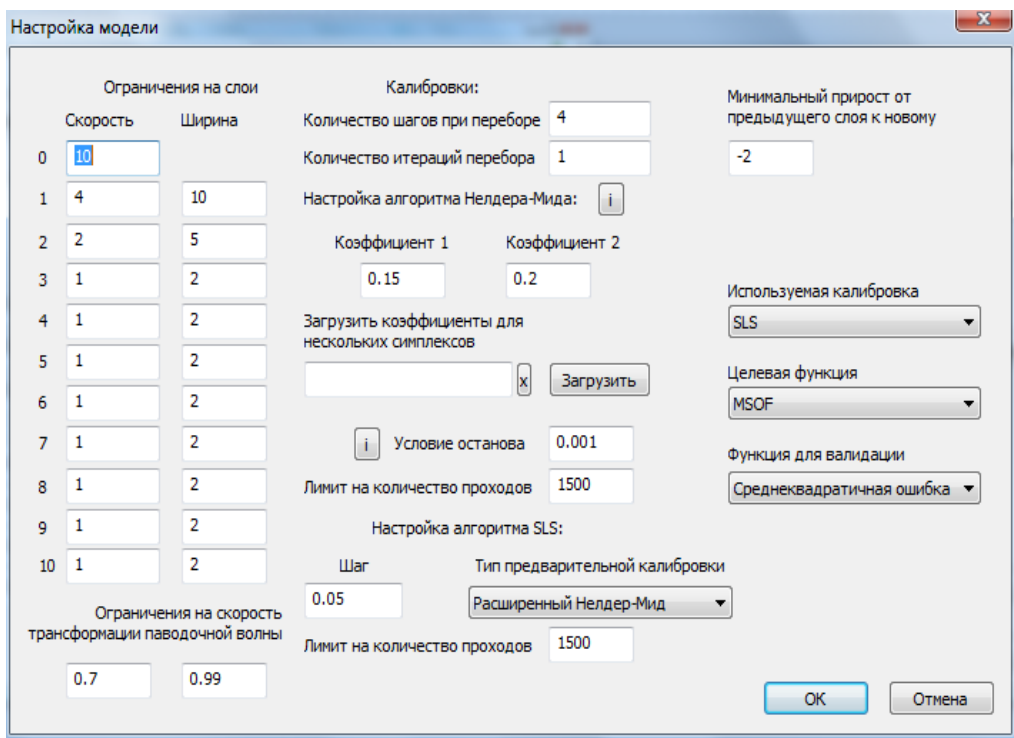


Рис. 6. Пользовательский интерфейс блока гидрологических прогнозов МКРС АС «VACES-HS»: вкладка калибровки и настройки гидрологической модели MLCM2

Модуль МКРС может быть использован для углубленного статистического анализа любых рядов наблюдений, а не только гидрологических. Кроме того, МКРС может быть легко усовершенствован и адаптирован для обеспечения автоматизированной поддержки принятия управленческих решений. Для этого необходимо интегрировать МКРС с технологией ансамблевого прогнозирования стока «ERF», созданной в РГТМУ в 2013 г. (в рамках проекта «Разработка технологии ансамблевого прогнозирования паводков и половодий как основы автоматизированной системы принятия решений в условиях гидрологической катастрофы») и включающей, помимо модели MLCM2, ещё четыре модели: модель «Сакраменто» (The Sacramento Soil Moisture Accounting model, SAC-SMA), модель HBV и модель «Sugawara» [11].

Изменения климата и переменная антропогенная нагрузка учитываются при:

- 1) определении точек разладки в блоке гидрологических расчётов МКРС (см. рис. 3 и 4);
- 2) выполнении калибровки модели MLCM2 в блоке гидрологических прогнозов МКРС (см. рис. 5 и 6).

Основными достоинствами разработанной технологии являются возможность прогнозирования бокового притока в водохранилища ГЭС с малоизученных и неизученных водосборов, возможность прогнозирования риска формирования катастрофических паводков с заблаговременностью до 3–7 дней и высокоточного прогнозирования паводков с заблаговременностью до нескольких часов, возможность заблаговременного оценивания гидрометеорологической уязвимости объектов гидроэнергетики в условиях изменения климата и переменной антропогенной нагрузки на речные водосборы, а также возможность расчёта основных гидрологических характеристик, используемых для проектирования гидротехнических сооружений, с учётом изменения климата и переменной антропогенной нагрузки на водосборы рек, используемых для производства электроэнергии.

Литература

1. Определение расчетных гидрологических характеристик, СНиП 2.01.14-83, Государственный комитет СССР по делам строительства. – М., 1985.
2. Свод правил «Определение основных расчетных гидрологических характеристик», СП 33-101-2003. – М.: Стройиздат, 2004.
3. Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1972.
4. Карлин Л.Н., Кузьмин В.А., Дикинис А.В., Иванов М.Э., Шилов Д.В., Бородина Е.Г., Степанова Е.Д., Макин И.С., Чубарова А.В., Румянцев Д.Ю., Шеманаев К.В. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка технологий мониторинга, расчёта и прогнозирования гидрометеорологической уязвимости гидротехнических сооружений в условиях изменения климата и переменной антропогенной нагрузки». – СПб., 2013.
5. Кузьмин В.А. Комплексное использование данных дистанционного зондирования, наземных наблюдений и численных прогнозов погоды при автоматизированном прогнозировании стока // Уч. зап. РГТМУ, 2011, № 22, с. 16–27.

6. Кузьмин В.А. Алгоритмы автоматической калибровки многопараметрических моделей, используемых в оперативных системах прогнозирования паводков // Метеорология и гидрология, 2009, № 7, с. 92–104.
7. Кузьмин В.А. Аппаратно-программный комплекс «Inwada» по поиску, передаче и хранению гидрометеорологической информации в целях фоновое прогнозирование опасных гидрологических явлений // Естественные и технические науки, 2009, № 6, с. 258–270.
8. Кузьмин В.А. Оценивание увлажненности водосбора по данным дистанционного зондирования, наземных гидрометрических наблюдений и математического моделирования стока // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 45–57.
9. Кузьмин В.А. О возможности повышения заблаговременности прогнозов стока средних рек путем стыковки гидродинамических моделей погоды и гидрологических моделей // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 16, с. 22–27.
10. Кузьмин В.А. Основные принципы автоматической калибровки многопараметрических моделей, используемых в оперативных системах прогнозирования дождевых паводков // Метеорология и гидрология, 2009, № 6, с. 74–85.
11. Кузьмин, В.А. Постобработка и корректировка прогнозов паводков, выпускаемых при помощи автоматизированных систем // Метеорология и гидрология, 2009, № 8, с. 80–90.
12. Кузьмин В.А. Принципы автоматической обработки данных в автоматизированных системах прогнозирования стока // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 28–37.
13. Кузьмин В.А. Расчет максимальных расходов весеннего половодья методом оптимизации интегрального поправочного коэффициента // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 14, с. 5–13.
14. Кузьмин В.А. Фоновое прогнозирование стока в режиме, близком к реальному времени // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 38–44.

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.6 федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (проект № 14.516.11.0072 от 27 июня 2013 г.).

*В.А. Кузьмин, Д.П. Соломатин, Т.П. Проданов,
Н.А. Рошет, А.А. Полякова, С.В. Еремина*

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АНСАМБЛЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТОКА

*V.A. Kuzmin, D.P. Solomatin, T.P. Prodanov,
N.A. Roshet, A.A. Polyakova, S.V. Eremina*

A SOFTWARE FOR THE STREAMFLOW ENSEMBLE MODELLING AND FORECASTING

В работе рассмотрена разработанная в РГГМУ многокомпонентная технология ансамблевого моделирования и прогнозирования стока, реализованная в виде программного обеспечения «ERF» (от англ. «Ensemble Runoff Forecasting» – ансамблевое прогнозирование стока), не имеющего известных аналогов ни в Российской Федерации, ни за её пределами.

Ключевые слова: прогнозирование, гидрологическая модель, данные, паводок, технология автоматизированной поддержки принятия решений, ансамблевые прогнозы, снижение неопределенности.

In this paper, a new multi-component technology recently developed in RSHU for the streamflow ensemble modelling and forecasting is presented. This technology is implemented in new software, called 'ERF' (Ensemble Runoff Forecasting), which does not have any known analogues neither in the Russian Federation, nor abroad

Key words: forecasting, hydrological model, data, floods, technology of automated decision-support, ensemble forecasts, decreasing uncertainly.

Целью ряда выполняемых в РГГМУ НИР является повышение эффективности управленческих решений и разработка методов и технологий автоматизированной поддержки принятия управленческих решений (АППР) [1–10]. В частности, это может быть сделано на основе ансамблевых прогнозов – вероятностных прогнозов сценариев возможного развития рассматриваемого гидрологического процесса, при котором в явном виде учитываются различные виды неопределённости: неопределённость входных данных, а также неопределённость структуры модели и её параметров [2, 4, 5]. Результатом ансамблевого моделирования и прогнозирования стока является некоторое число возможных сценариев развития рассматриваемого гидрологического процесса (речного стока) [10].

В отличие от вероятностного прогнозирования на основе стохастических моделей, ансамблевое прогнозирование не предполагает определение крайне неустойчивых во времени параметров, выражающих интенсивность «шумов» и поэтому является более надёжным средством получения вероятностных прогнозов [10].

В 2013 г. в РГГМУ была разработана многокомпонентная технология ансамблевого моделирования и прогнозирования стока, реализованная в виде программного обеспечения (ПО) «ERF» (от англ. «Ensemble Runoff Forecasting» –

ансамблевое прогнозирование стока), не имеющего известных аналогов ни в Российской Федерации, ни за её пределами. ПО «ERF» позволяет выполнять следующие расчётно-прогностические и аналитические процедуры:

- 1) Генерирование ансамблей (возможных сценариев) гидрологических процессов по различным видам гидрологических моделей;
- 2) Генерирование ансамблей по различным видам входных гидрометеорологических данных;
- 3) Генерирование ансамблей по различным наборам (векторам) параметров отдельной гидрологической модели;
- 4) Детерминистическое прогнозирование стока с использованием лишь одной модели из четырёх имеющихся (в этом случае генерируется один сценарий для одной модели с одним набором входных данных и одним фиксированным набором параметров);
- 5) Статистический анализ сгенерированных сценариев, включающий расчёт статистических характеристик ансамблевого прогноза.

На рис. 1 представлена принципиальная схема ПО «ERF».

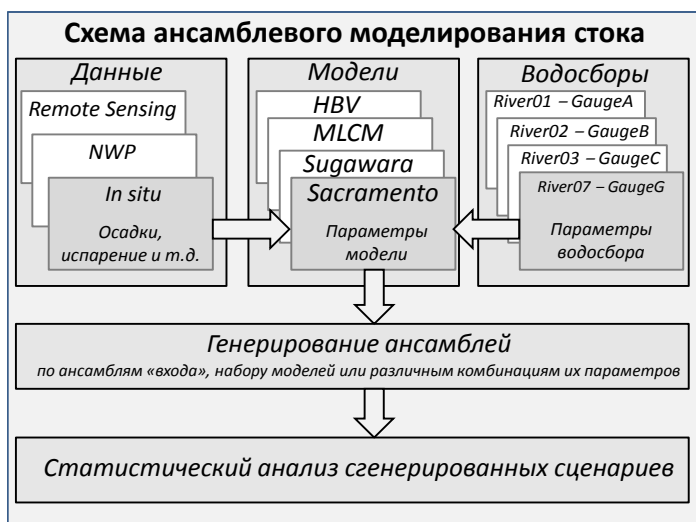


Рис. 1. Принципиальная схема программного обеспечения «ERF»

Выбор гидрологической модели в общем случае зависит от её адекватности по отношению к моделируемому природному процессу, наличия необходимых входных данных, наличия эффективного инструментария для её параметризации (в частности, автоматической калибровки) и возможности использования «выхода» этой модели для дальнейшего использования для АППР [2, 4, 5, 10]. Поэтому в данной работе выбор конкретных моделей для дальнейшего генерирования ансамблей основывался на одновременном учёте всех перечисленных основных факторов. Наибольшей гибкостью и функциональностью из рассмотренных моделей обладают следующие четыре модели:

- 1 Модель MLCM2 (РГГМУ, Россия) [2, 4–6];
- 2 Модель «Сакраменто» (The Sacramento Soil Moisture Accounting model, США) [11];
- 3 Модель HBV (Швеция) [10, 12];
- 4 Модель «Sugawara» (Япония) [10, 12].

В качестве исходных данных могут быть использованы все существующие виды источников гидрометеорологической информации (ГМИ). Комплексное использование разнородных гидрометеорологических данных, поступающих из различных источников позволяет выполнять прогнозирование стока не только с изученных, но и с малоизученных и неизученных (в метеорологическом и гидрологическом отношении) водосборов [1, 10].

Источники модельной неопределенности (т.е. исходящей от моделирования и используемых моделей) могут быть сгруппированы следующим образом:

1. Случайные или систематические ошибки в модельных входах (граничных или начальных условиях) («неопределенность входных данных»);
2. Случайные или систематические ошибки в измеренных данных выхода используемых для калибровки моделей и измерения точности моделирования («неопределенность выходных данных»);
3. Неопределенности, связанные с неверными или субоптимальными значениями параметров («параметрическая неопределенность»);
4. Неопределенности, связанные с неадекватной или неполной структурой модели («структурная неопределенность»);
5. Комбинация различных видов неопределенности.

При выборе стратегии разработки программного обеспечения авторы руководствовались следующими соображениями:

- 1) Разрабатываемое программное обеспечение (ПО) должно обеспечивать генерирование ансамблей (возможных сценариев развития моделируемого гидрологического процесса) по различным моделям, по различным данным и по различным параметрам одной модели [10–13];
- 2) минимальный по численности ансамбль должен состоять из одного сценария, построенного по выбранным пользователем данным, модели и параметрам;
- 3) ПО должно допускать использование пользовательских настроек и настроек, заданных по умолчанию;
- 4) ПО должно быть совместимо с ОС Windows;
- 5) ПО должно обеспечивать графическое представление генерируемых ансамблей;
- 6) ПО должно содержать средства статистической обработки результатов ансамблевого моделирования и прогнозирования гидрологических сценариев;
- 7) ПО распространяется пользователям через сеть интернет (скачивается с сайта проекта или FTP-сайта, доставляется через внешние файлообменники).

Разработанная веб-страница программного обеспечения «ERF» позволяет авторизованным пользователям выполнять моделирование речного стока в интерактивном режиме. Возможен выбор английского или русского языка графического интерфейса программы, дальнейшее описание приведено для русского варианта графического интерфейса.

Метод выпуска ансамблевых прогнозов стока, так и программное обеспечение технологии ансамблевого моделирования и прогнозирования стока должно обеспечивать выполнение следующих процедур:

При выборе сценария можно загрузить существующий сценарий из базы данных либо выбрать новый, а также возможность редактировать сценарий. При создании нового сценария пользователь загружает файлы с данными о водосборе, далее следует загрузить данные о фактическом стоке.

Выбор типа ансамбля: выбор способа генерирования ансамблей (по моделям, по данным или по параметрам); выбор одной или нескольких моделей из предлагаемого списка – выбор модели одинарный при типе ансамбля «Параметры» и «Данные», но множественный при типе «Модель».

При выборе параметров:

- Если тип ансамбля – «Модель», то происходит переключение между моделями, для каждой модели наборы параметров разные; при этом набор параметров для модели можно выбрать самостоятельно;

- Если тип ансамбля – «Параметры», то выбор параметров множественный, иначе одинарный; устанавливает для модели набор параметров, помеченных флагом «Лучшие», если такой есть; или же устанавливает для модели стандартный набор параметров «Параметры по умолчанию».

По умолчанию интервал ансамбля равен максимальному общему интервалу всех выбранных осадков и фактического стока. Результат ансамбля сохраняется в выбранный файл. Также существует возможность добавления нового сценария, редактирование выбранного сценария, удаление выбранного сценария. Основные вкладки ПО «ERF», предназначенные для использования описанных опций представлены на рис. 2–5.

Полная процедура подготовки данных учитывает рекомендации ВМО [10] и включает получение необработанных данных с внешних носителей, архивирование необработанных данных, документирование и протоколирование их характеристик, анализ и контроль качества поступивших данных, вторичную обработку (заполнение пропусков и пробелов, корректировка и исправление посторонних символов и т.д.), документирование и протоколирование всех изменений в данных, маркировку массивов, архивирование обработанных данных (вместе с их кодами-идентификаторами), определение приоритетности использования различных данных, если одни и те же метеорологические переменные описываются различными массивами данных и, наконец, формирование единого массива данных для дальнейшего использования в прогностических целях [4, 5, 7, 9, 10–13]. Для формирования единых массивов данных необходимо выполнить следующие шаги [10]:

Select Scenario

Пожалуйста, выберите сценарий

☐ Из базы данных

☒ Новый

Язык: RUS

Номер водосбора (8 цифр)

Название водосбора (*)

Название стока (*)

Площадь водосбора, кв. км

Длина основного стока, км

Основной тип почвы: Default

Единицы измерения: US

Дискретность (количество измерений в день)

.deck Загрузить

.dat (*) Загрузить

Ансамбль

Рис. 2. Пользовательский интерфейс программного обеспечения «ERF»: вкладка ввода данных о водосборе

Ensemble Type

Выберите тип

☒ Параметры

☐ Данные

☐ Модель

Выберите модель

HBV

MLCM

Sacramento

Sugawara

Назад

Вперед

Рис. 3. Пользовательский интерфейс программного обеспечения «ERF»:

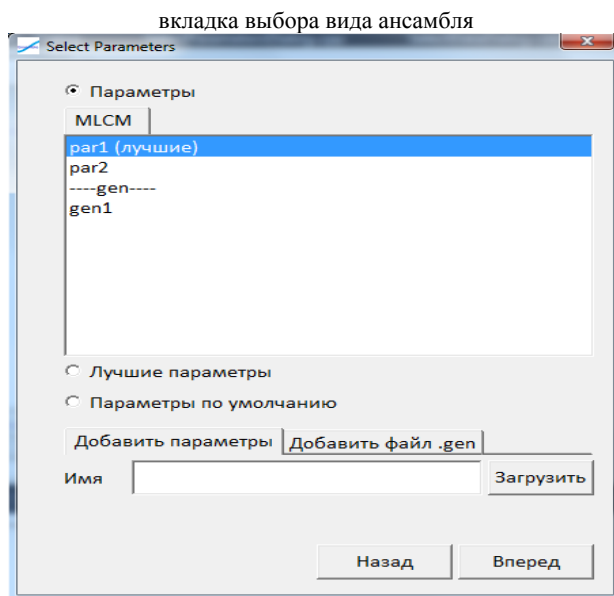


Рис. 4. Пользовательский интерфейс программного обеспечения «ERF»:
вкладка выбора набора параметров модели

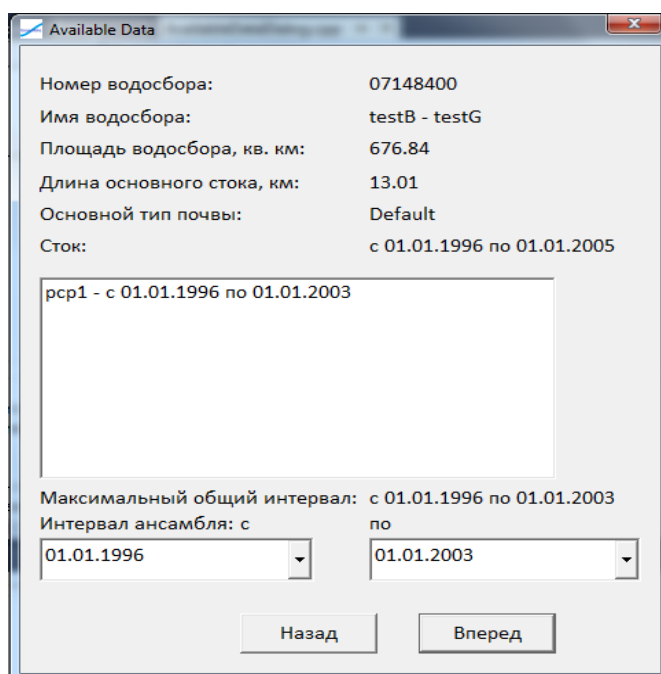


Рис. 5. Пользовательский интерфейс программного обеспечения «ERF»:
вкладка контроля параметров и выбора временного интервала для тестовых ансамблевых прогнозов

1) Установить приоритетность использования каждого вида исходных (необработанных или обработанных) данных из имеющегося списка путём определения наилучшего значения целевой функции для каждого вида данных и последующего ранжирования видов (источников, способов обработки и т.д.) данных в порядке возрастания значения целевой функции. Вид данных, соответствующий наименьшему значению целевой функции считается самым приоритетным и используется в первую очередь.

2) Проверить целостность приоритетного вида данных. Если массив является полным (то есть не имеет пропусков или ошибок, или если имеющиеся пропуски не снижают качества прогнозов), то этот массив используется для прогнозирования стока без каких-либо дальнейших изменений или преобразований. Если массив является неполным, пропуски данных заполняются на основе корреляции со следующим по приоритетности полным массивом данных. Если полных массивов нет, все пробелы заполняются на основе множественной корреляции по всем имеющимся массивам данных.

3) Установить приоритетность восстановленных данных так же, как это сделано в п. 1.

4) В качестве единого массива использовать восстановленный массив с наивысшим приоритетом.

Разработанная технология может быть использована в качестве основы для автоматической поддержки принятия управленческих решений на основе прогностической информации, а также для повышения эффективности таких решений в условиях гидрологических катастроф и чрезвычайных ситуаций.

Оценив вертикальную структуру исследуемой части Тихого турбулентное и волновое перемешивание, вызванное сильными ветрами при прохождении ТЦ, было вполне способным эродировать термоклин и вовлечь тем самым в верхний перемешанный слой относительно холодные воды.

Литература

- Кузьмин В.А. Комплексное использование данных дистанционного зондирования, наземных наблюдений и численных прогнозов погоды при автоматизированном прогнозировании стока // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 16-27.
- Кузьмин В.А. Алгоритмы автоматической калибровки многопараметрических моделей, используемых в оперативных системах прогнозирования паводков // Метеорол. и гидрол., 2009, № 7, с. 92-104.
- Кузьмин В.А. Аппаратно-программный комплекс «Inwada» по поиску, передаче и хранению гидрометеорологической информации в целях фонового прогнозирования опасных гидрологических явлений // Естественн. и технич. науки, 2009, № 6, с. 258-270.
- Кузьмин В.А. Оценка увлажнения водосбора по данным дистанционного зондирования, наземных гидрометрических наблюдений и математического моделирования стока // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 45-57.
- Кузьмин В.А. О возможности повышения заблаговременности прогнозов стока средних рек путем стыковки гидродинамических моделей погоды и гидрологических моделей // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 16, с. 22-27.

- Кузьмин В.А. Основные принципы автоматической калибровки многопараметрических моделей, используемых в оперативных системах прогнозирования дождевых паводков // Метеорол. и гидрол., 2009, № 6, с. 74-85.
- Кузьмин В.А. Постобработка и корректировка прогнозов паводков, выпускаемых при помощи автоматизированных систем // Метеорол. и гидрол., 2009, № 8, с. 80-90.
- Кузьмин В.А. Принципы автоматической обработки данных в автоматизированных системах прогнозирования стока // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 28-37.
- Кузьмин В.А. Фоновое прогнозирование стока в режиме, близком к реальному времени // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 38-44.
- Guide to Hydrological Practices. Fifth edition [Text] / World Meteorological Organization, Geneva, WMO No. 168, 1994. – 739 p.
- Burnash, R.J.C., 1973. Technical Report: A generalized streamflow simulation system – conceptual modeling for digital computers // Joint Federal and State River Forecast Center. US NWS and California DWR. – Sacramento, CA. – 204 p.
- Barrett, D. Improved stream flow forecasting by coupling satellite observations, in situ data and catchment models using data assimilation methods // eWater CRC Technical Report. – 2008. – 77 p.
- Zhu, T., and D.-L. Zhang (2006). The impact of the storm-induced SST cooling on hurricane intensity, *Adv. Atmos. Sci.*, 23, 14–22, doi:10.1007/s00376-006-0002-9.
- Kuzmin, V., Seo, D.-J., Koren, V. Fast and efficient optimization of hydrologic model parameters using a priori estimates and stepwise line search // *Journal of Hydrology*, vol. 353, iss. 1–2, 2008, p. 109-128.

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.5 федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (проект № 14.В37.21.1977 от 14 ноября 2012 г.).

**В.А. Кузьмин, Т.П. Проданов, Н.А. Рошет,
А.А. Полякова, М.В. Симановская, И.С. Гаврилов**

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ MLCM2

**V.A. Kuzmin, T.P. Prodanov, N.A. Roshet,
A.A. Polyakova, M.V. Simanovskaya, I.S. Gavrillov**

THE MULTI-LAYER CONCEPTUAL MODEL SOFTWARE (MLCM2)

В работе рассмотрено разработанное в РГГМУ программное обеспечение, предназначенное для моделирования и прогнозирования стока на основе гидрологической модели MLCM2 (от англ. «Multi-Layer Conceptual Model, version 2» – многослойная концептуальная модель, вторая версия). Программное обеспечение MLCM2 отличается высокой эффективностью моделирования и прогнозирования дождевых паводков на малых водосборах, обладающих различной степенью гидрометеорологической изученности.

Ключевые слова: прогнозирование, гидрологическая модель MLCM2, программное обеспечение, данные, дождевой паводок, прогнозы, снижение неопределенности

In this paper, recently developed in RSHU new software based on the Multi-Layer Conceptual Model (MLCM2), which can be applied for the stream flow modelling and forecasting, is presented. This software is found very efficient in the flashfloods modelling and forecasting in small gauged, poorly gauged and ungauged catchments.

Key words: forecasting, hydrological model MLCM2, software, data, flash flood, forecasts, decreasing uncertainty.

В нашей стране насчитывается около 2 миллионов водотоков, являющимися малоизученными или неизученными в гидрологическом отношении, что составляет практически 4/5 от их общего числа. Поэтому существует объективная необходимость разработки такой прогностической технологии, которая, во-первых, была бы применима для прогнозирования опасных гидрологических процессов и явлений на малоизученных и неизученных водосборах, а во-вторых, была бы ориентирована на нужды конкретных потребителей гидрометеорологической информации [1–10]. Для достижения этой цели в РГГМУ в рамках НИР «Автоматизированное прогнозирование опасных гидрологических процессов и явлений на малоизученных и неизученных водосборах Российской Федерации» была разработана современная технология прогнозирования дождевых паводков на неизученных и малоизученных (в метеорологическом и гидрологическом отношении) водосборах, основанная на использовании гидрологической модели MLCM2.

Формирование «входа» гидрологической модели MLCM2 осуществляется путём интегрирования данных дистанционного зондирования и «выхода» численных моделей погоды. При прогнозировании стока с малоизученных (в метеорологическом отношении) водосборов эти данные проходят процедуру усво-

ения с использованием редких наземных наблюдений. При прогнозировании стока с неизученных (в метеорологическом отношении) водосборов эти данные проходят процедуру усвоения с использованием редких наземных наблюдений. Полный алгоритм автоматизированного прогнозирования дождевых паводков и его функциональные элементы проиллюстрированы на рис. 1.

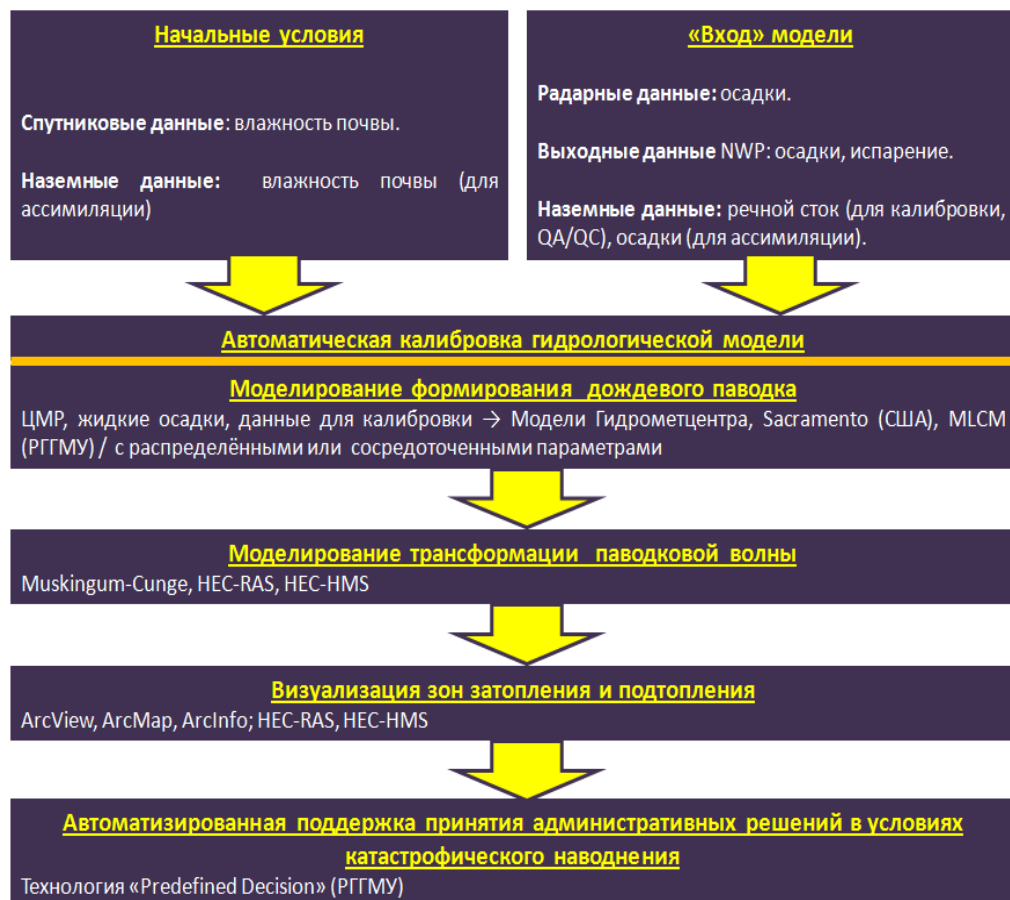


Рис. 1. Алгоритм автоматизированного прогнозирования дождевых паводков

Автоматическая калибровка модели MLCM2 выполняется при помощи специально разработанного для этой цели оптимизационного алгоритма [1, 9]. Крупные и средние водосборы разбиваются на более мелкие частные водосборы, являющиеся либо изученными, либо неизученными (в гидрологическом отношении). Фоновое прогнозирование дождевых паводков может быть выполнено при помощи модели MLCM2 в автоматическом режиме; для тех водосборов, где установлено повышение риска паводка, затем может быть выполнено уточнённое прогнозирование (в автоматическом или интерактивном режиме).

Блоки моделирования распространения паводковой волны, визуализации зон затопления и автоматизированной поддержки принятия административных решений являются опциональными

На рис. 3 и 4 представлен пользовательский интерфейс ПО MLCM2. Программа «MLCM2.exe» работает под управлением операционной системы Microsoft Windows 7 или Microsoft Windows 8. После запуска исполняемого файла «MLCM2.exe» выполняются следующие функции:

1. Считывание файла настроек.
2. Калибровка модели.
3. Расчет.
4. Экспорт полученной информации.

Вызов программы производится вручную или по таймеру (планировщику задач). По умолчанию входными данными для программы «MLCM2.exe» являются:

1. Данные мезомасштабной метеорологической модели WRF в формате NetCDF;
2. Информация о водосборе в формате CSV.

Кроме того, пользователь имеет возможность произвольно выбирать требуемые массивы данных и вручную вводить морфометрические характеристики водосбора.

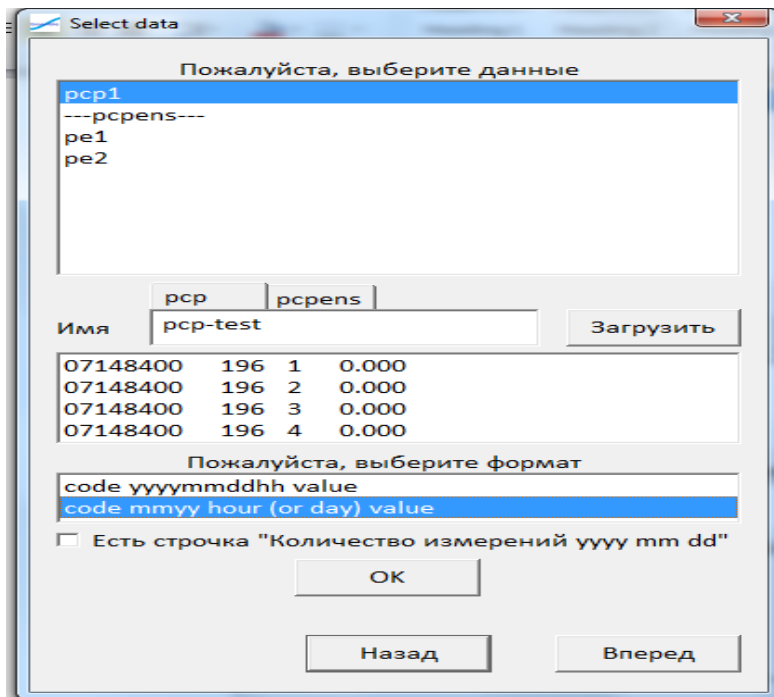


Рис. 2. Вкладка загрузки данных модели MLCM2

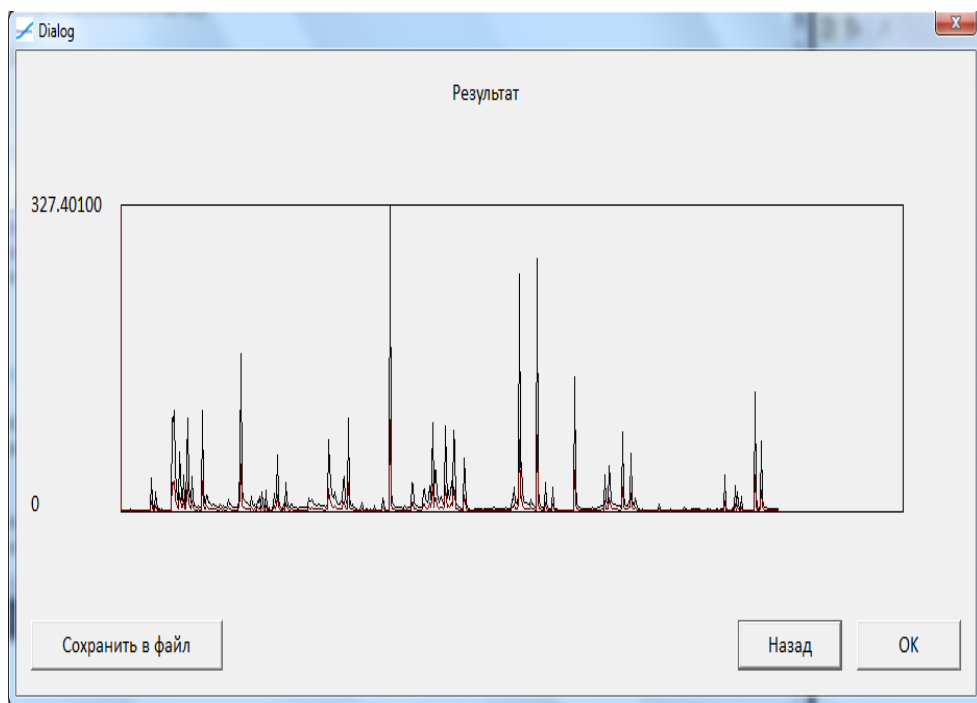


Рис. 3. Вкладка вывода полученных результатов

В ходе выполнения НИР «Автоматизированное прогнозирование опасных гидрологических процессов и явлений на малоизученных и неизученных водосборах Российской Федерации» было выполнено тестирование разработанного программного обеспечения и сравнение полученных результатов с результатами тестового прогнозирования стока на основе наиболее широко используемой в мире американской модели «Сакраменто» (the Sacramento Soil Moisture Accounting model, SAC-SMA [11–13]). Как следует из табл. 1, модель MLCM2 является более эффективным инструментом прогнозирования дождевых паводков, чем модель «Сакраменто». В первую очередь, это объясняется повышенным уровнем функциональности модели MLCM2, которая обладает гибкой структурой и более эффективно калибруется, чем SAC-SMA.

Основными конструктивными и технологическими особенностями разработанной технологии являются:

- высокая прогностическая эффективность прогнозирования стока на основе модели MLCM2;
- возможность использования разработанной технологии для эффективного фоновое прогнозирования стока на неизученных и малоизученных реках [1–9];
- возможность использования разработанной технологии для автоматизированной поддержки принятия управленческих решений в условиях опасных и катастрофических паводков и половодий.

Таблица 1

Результаты численных экспериментов по моделированию дождевых паводков

№ п/п	Код водотока	Значение целевой функции MSOF	
		MLCM2	SAC-SMA
1	ATIT2	18.57	19.36
2	DCJT2	14.49	16.13
3	GBHT2	10.41	11.35
4	GETT2	14.50	16.22
5	GNVT2	13.10	14.39
6	HBMT2	25.25	27.02
7	HNTT2	28.61	30.99
8	JTBT2	11.85	12.19
9	KNLT2	12.29	11.55
10	LYNT2	10.38	10.22
11	MCKT2	12.44	13.87
12	MDST2	25.54	25.79
13	MTPT2	31.49	33.92
14	PICT2	33.11	38.00
15	QLAT2	12.69	14.38

ПО MLCM2 было использовано в качестве основы для создания технологии ансамблевого прогнозирования стока «ERF» (от англ. «Ensemble Runoff Forecasting» – ансамблевое прогнозирование стока), не имеющего известных аналогов ни в Российской Федерации, ни за её пределами. Кроме того, оно может быть использовано для создания автоматизированной системы поддержки принятия управленческих решений в условиях опасных и катастрофических дождевых паводков и сезонных половодий.

Литература

- Кузьмин В.А. Комплексное использование данных дистанционного зондирования, наземных наблюдений и численных прогнозов погоды при автоматизированном прогнозировании стока // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 16-27.
- Кузьмин, В.А. Алгоритмы автоматической калибровки многопараметрических моделей, используемых в оперативных системах прогнозирования паводков // Метеорол. и гидрол., 2009, № 7, с. 92-104.
- Кузьмин В.А. Аппаратно-программный комплекс «Inwada» по поиску, передаче и хранению гидрометеорологической информации в целях фонового прогнозирования опасных гидрологических явлений // Естеств. и технич. науки, 2009, № 6, с. 258-270.
- Кузьмин В.А. Оценивание увлажненности водосбора по данным дистанционного зондирования, наземных гидрометрических наблюдений и математического моделирования стока // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 45-57.
- Кузьмин В.А. О возможности повышения заблаговременности прогнозов стока средних рек путем стыковки гидродинамических моделей погоды и гидрологических моделей // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 16, с. 22-27.
- Кузьмин В.А. Основные принципы автоматической калибровки многопараметрических моделей, используемых в оперативных системах прогнозирования дождевых паводков // Метеорол. и гидрол., 2009, № 6, с. 74-85.
- Кузьмин В.А. Постобработка и корректировка прогнозов паводков, выпускаемых при помощи автоматизированных систем // Метеорол.и гидрол., 2009, № 8, с. 80-90.

- Кузьмин В.А.* Принципы автоматической обработки данных в автоматизированных системах прогнозирования стока // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 28-37.
- Кузьмин В.А.* Фоновое прогнозирование стока в режиме, близком к реальному времени // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 38-44.
- Guide to Hydrological Practices. Fifth edition [Text] / World Meteorological Organization, Geneva, WMO No. 168, 1994. – 739 p.
- Burnash, R.J.C.*, 1973. Technical Report: A generalized streamflow simulation system – conceptual modeling for digital computers [Text] / R.J.C. Burnash, R.L. Ferral, McGuire R.A. // Joint Federal and State River Forecast Center. US NWS and California DWR, Sacramento, CA. – 204 p.
- Barrett, D.* Improved stream flow forecasting by coupling satellite observations, in situ data and catchment models using data assimilation methods [Text] / Barrett, D., Kuzmin, V., Walker, J., McVicar, T. Draper, C. // eWater CRC Technical Report., 2008. – 77 p.
- Kuzmin, V., Seo, D.-J., Koren, V.* Fast and efficient optimization of hydrologic model parameters using a priori estimates and stepwise line search // J. of Hydrol., vol. 353, iss. 1–2, 2008, pp. 109-128.

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.2.1 федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (проект № 14.В37.21.1267 от 1 ноября 2012 г.).

МЕТЕОРОЛОГИЯ

Т.С. Ермакова, Р.Е. Ванкевич, И.А. Колесников

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЫМОВЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ЗА ПРЕДЕЛЫ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

T.S. Ermakova, R.E. Vankevich, I.A. Kolesnikov

NUMERICAL SIMULATION OF SMOKE AEROSOLS BEYOND THE ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER

В работе представлены результаты моделирования распространения дымовых аэрозолей за пределы пограничного слоя атмосферы в районах интенсивного задымления от лесных пожаров на основе полуэмпирических зависимостей. Проведено сравнение полученных расчетных полей аэрозоля с данными дистанционного зондирования атмосферы из космоса. Разработанная модель применима для проведения имитационного моделирования переноса и стока аэрозолей на территории РФ.

Ключевые слова: концентрация аэрозоля, выбросы от лесных пожаров, спутниковые данные, лесные пожары.

The results of smoke aerosols modeling beyond the boundary layer in wild-land fires areas on the basis of semi-empirical relationships are presented. It was made a comparison of the calculated aerosol fields with remote sensing data. The developed model is suitable for the simulation of aerosols flow and transport in the territory of the Russian Federation.

Key words: aerosol concentrations, wild-fire emissions, remote sensing data.

Введение

Все больше спутниковые наблюдения за аэрозолями используются для оценки распределения высот выбросов от лесных пожаров выше пограничного слоя атмосферы. Авторы работы [Labonne M., 2007], используя данные с инструмента CALIOP на борту спутника CALIPSO, обнаружили, что дым от лесных пожаров часто остаётся внутри пограничного слоя и выход его за пределы пограничного слоя случается крайне редко. В то же время Кан и его соавторы в работе [Kahn R., 2008], используя данные с инструмента MISR за 2004 г. над территориями Юкона и Аляски, выявили, что лишь 5–18 % дымовых струй достигают свободной тропосферы. При определении пограничного слоя атмосферы учитывается ряд метеорологических параметров, например, устойчивость атмосферы у земной поверхности, температуру воздуха и скорость ветра, которые важны как фоновые характеристики при подъеме выбросов от лесного пожара [Stull R., 1998].

Количество лесных пожаров, как и их интенсивность, различны в зависимости от времени года, что подтверждено в работе [Val Martin M., 2010]. Высота выбросов так же имеет сезонную изменчивость. Более 80 % выбросов не выходят за пределы пограничного слоя. Следовательно, высота пограничного слоя в большинстве случаев может служить определяющей характеристикой для высоты выброса от лесного пожара.

Высота выбросов, естественно, зависит от характеристик самого пожара, получение которых с достаточной точностью практически невозможно. FRP – максимально доступная и физически обоснованная характеристика пожара, которая, скорее всего, уже включает в себя все необходимые данные о пожаре. Исследования, проведенные Сухининым, показали [Sukhinin A., 2005], что радиационная мощность пожара прямо пропорциональна количеству сгоревшего топлива за секунду. Также ряд исследований проведенных в этой области подтверждает, что лишь дым от мощных лесных пожаров, с большим значением FRP может достичь верхних слоев тропосферы.

Высота подъема дымовой струи является сложной функцией, зависящей, в том числе и от стратификации атмосферы. Логично предположить, что выбросы, поднимающиеся значительно выше пограничного слоя атмосферы зависят от стратификации атмосферы на высоте выше пограничного слоя.

Таким образом, для оценки высоты выбросов необходима характеристика устойчивости атмосферы выше пограничного слоя. Проще всего использовать частоту Брента-Вайсяля. Данная метеорологическая величина в настоящей работе была получена при постобработке оперативных архивов Европейского центра среднесрочного прогнозирования (ECMWF).

Материалы и методы

Для настоящего исследования были использованы данные с инструмента MISR и MODIS по лесным пожарам 2007 и 2008 гг., имевших место на территории Соединенных Штатов Америки, Сибири и Канады. Инструменты MISR и MODIS позволяют получать ряд параметров, с помощью которых возможно изучение струй дыма от лесных пожаров. MISR осуществляет стереосъемку облаков и подстилающей поверхности. Сопоставляя скорость спутника с изменением положения облака, и учитывая поправку на ветер, можно оценить высоту облака аэрозоля над поверхностью [<http://www-misr2.jpl.nasa.gov/EPA-Plumes/suggestions4UsingData.cfm>; Nelson D., 2008]. Высоты с поправкой на ветер определяются при рассмотрении дополнительного перемещения дымовой струи, вызванного ветром. Скорость и направление ветра определяются из автоматической обработки стерео данных. Авторы работы [Kahn R., 2007] подтвердили, что высоты с поправкой на ветер более точные (особенно, когда направление перемещения спутника перпендикулярно направлению ветра), хотя при их использовании пространственное покрытие меньше.

Погрешность измерения высоты струи дыма от пожара со спутника может составлять плюс-минус 500 м. Соответственно все расчетные высоты, которые

попали в амплитуду данной погрешности, считаются «точными» результатами вычислений. Измерения высоты подъема струи дыма от пожаров для данного исследования были взяты из архива MISR [<http://www-misr.jpl.nasa.gov/Mission-misrInstrument/>]. В случае пожаров, облако дыма часто формируется несколькими близко расположенными очагами горения. В таких случаях MISR архив содержит список всех пожаров и их FRP, участвовавших в формировании облака. Для расчетов эти мощности были: а) просуммированы (далее TOTAL FRP); б) выбрана максимальная (далее max FRP). В основном исследовании использовалась max FRP.

Предположение: при одинаковых внешних метеорологических условиях самый большой и самый горячий источник должен давать самый высокий выброс аэрозолей. Следовательно, значению max FRP соответствует самая высокая точка измерения высоты выбросов от конкретного пожаров (Best Top Height). Во всех случаях из данного значения высоты вычиталась высота земной поверхности (Terrain Elevation).

В список продуктов MODIS входит радиационная мощность излучения пожара (FRP, скорость выделения радиационной энергии) с пикселя, покрытого пожаром, определяемая по эмпирической формуле [Kaufman Y, 1998]:

$$FRP = 4.34 \cdot 10^{-13} (T_f^4 - T_{fb}^4), \quad (1)$$

где T_f и T_{fb} – яркостная температура пожара и яркостная фоновая температура (взятая с соседних пикселей) соответственно. Данные температуры измеряются на канале с длиной волны 3,96 мкм. Зависимость была получена при подгонке действительной скорости выделения энергии пожара с его очевидной (apparent) температурой на 4 и 11 ИК каналах. Отношение этих величин, как, оказалось, имеет хорошую корреляцию для открытых средних и очень сильных пожаров.

Процедура выявления очага горения на MODIS основывается на алгоритме, описанном в работе [Giglio L., 2003]. Данный алгоритм применяется при обнаружении спутником выбросов эмиссии от лесных пожаров в среднем инфракрасном диапазоне [Dozier J., 1981; Matson M., 1981]. Дополнительные тесты необходимы для исключения ошибочного выявления очага горения, вызванного солнечными бликами, границами пустынь и так далее [Sofiev M., 2009]. Однако большие неточности остаются в определении площади и интенсивности горения из-за ограничения по времени и пространству, из-за разнообразия топлива и облачного покрытия [Giglio L., 2006].

Общий вид зависимости. Физическое обоснование пределов для определения коэффициентов

Оценка подъема дымовой струи от лесного пожара может быть получена из предположения, что тепловая энергия пожара затрачивается на преодоление сил плавучести и трения [Sofiev M., 2011]. Данный подход игнорирует импульс поднимающегося факела, что резонно для большинства пожаров (вертикальные

скорости в данном случае сравнительно невысоки). Исходя из выше обозначенного предположения, конец подъема дымовой струи наступает, когда энергия от пожара полностью растрачивается. Этот подход похож на тот, что используется при вычислении CAPE (Convective Available Potential Energy) и полностью отличается от подхода для промышленных источников. CAPE часто используют для описания глубокой конвекции.

Для качественного анализа зависимостей, рассмотрим только два процесса: подъем против стратификации атмосферы и расширение дыма вследствие вовлечения окружающего воздуха.

Пусть энергия, выпущенная пожаром в воздух объемом V у поверхности, есть E_0 . Тогда плотность избытка энергии в сравнении с невозмущенным окружающим воздухом e_0 будет:

$$e_0 = \frac{E_0}{V} = \frac{E_0}{S_f w \tau} = \frac{P_f}{S_f w} \quad (2)$$

где w – начальная вертикальная скорость дыма; τ – период времени, в течение которого объем воздуха взаимодействует с пламенем; S_f – площадь пожара; P_f – энергия пожара, выделившаяся в воздух в форме явного и скрытого тепла.

Изменение избытка энергии $e(z)$ во время подъема может быть записано в следующем виде:

$$\frac{de}{dz} = -c_p \rho \frac{d\theta}{dz} - \frac{E_0}{V^2} \frac{dV}{dz} \quad (3)$$

Первый член уравнения описывает работу против сил плавучести, в то время как второй отражает расширение дымовой струи. Предполагая постоянной горизонтальную диффузивность K_{hor} , получаем линейный рост S ($S = S_f + 6\pi K_{hor} z / w$) с высотой [Maryon R., 1994], тогда уравнение (3) примет вид:

$$\frac{de}{dz} = -\frac{c_p \rho \theta}{g} N^2 - \frac{6\pi K_{hor} / w}{(S_f + 6\pi z K_{hor} / w)^2} P_f \quad (4)$$

Уравнение (4) должно быть проинтегрировано со следующим граничным условием $e(0) = e_0$. Конечный подъем дымовой струи H_p определяется при $e(H_p) = 0$.

Если все параметры уравнения (4) предположить постоянными, то замена переменной $z \rightarrow \xi = S/S_f$ (нормированная площадь поперечного сечения дымовой струи) после интегрирования представляет собой квадратное уравнение для $\xi_p(z = H_p)$:

$$-\frac{C_p \rho_a \theta S_f w N^2}{6\pi g K_{hor}} \zeta_p^2 + \frac{P_f}{w} \zeta_p + \frac{P_f}{w} = 0 \quad (5)$$

$$\zeta_p = 1 + \frac{6\pi H_p K_{hor}}{S_f w} \quad (6)$$

Решением уравнения (5) будет:

$$\xi_p = \frac{P_f}{AN^2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2AN^2}{P_f}} \right), \quad A = \frac{c_p \rho_a \theta w^2 S_f^2}{3\pi g K_{hor}} \quad (7)$$

Уравнение (7) могут быть обращено в общую формулу для расчета высоты выбросов от лесного пожара $H_p = f(P_f, N, \dots)$ с несколькими неизвестными константами, которые возможно определить эмпирически.

Во-первых, переменная A берется в качестве нормализующей константы. Она включает в себя все параметры, информация о которых не может быть доступной в реальном времени. Значение данной константы можно грубо оценить, принимая $S_f \sim 10^3 \text{ м}^2$, $w \sim 1 \text{ м с}^{-1}$, $K_{hor} \sim 10 \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$ (для невозмущенной атмосферы). Тогда $A \sim 4 \cdot 10^8 \text{ Дж} \cdot \text{с}$. Эта нормализация формально может быть записана как отношение стандартной мощности огня P_{f0} и частоты Брента-Вяйсяла N_0 :

$$A = \frac{P_{f0}}{N_0^2}, \quad P_{f0} = 10^6 \text{ Вт}, \quad N_0^2 = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-2} \quad (8)$$

Во-вторых, энергия P_f , затрачиваемая на нагрев воздуха, и FRP, полученная из спутниковых наблюдений и линейно связанная с сожженной биомассой, следовательно, линейно связаны друг с другом [Kaufman Y., 1998; Seinfeld J., 2006]. Таким образом, возможна замена $P_f \rightarrow FRP$.

В-третьих, для стандартных метеорологических величин и параметров пожара AN^2/P_f меняется от 1 до 100. Отсюда, в большинстве случаев высота выбросов пропорциональна FRP в степени 0,5. Это верхний предел, так как дополнительные потери на трение и изменение атмосферных параметров и характеристик пожара (например, постепенное замедление подъема и нелинейное расширение дымовой струи с высотой) приведут к меньшей степени $\gamma < 0,5$.

В-четвертых, частота Брента-Вяйсяла – внешний параметр относительно пожара и значительно меняется с высотой, в то время как вывод делался в предположении постоянства всех основных параметров. Следовательно, единая переменная P_f/N^2 в уравнении (8), скорее всего, не будет универсальной характеристикой условий подъема. Также $1/N^2$ может вызвать проблемы, когда стратификация не является явно устойчивой и $N^2 \sim 0$. поэтому следует рассматривать эти переменные отдельно. Во избежание проблем с $N^2 < 0$ внутри пограничного слоя (H_{ABL}), возьмем значение Брента-Вяйсяла в свободной тропосфере $N = N_{ft}(z = 2H_{ABL})$, но позволим струе преодолевать часть пограничного слой «свободно», добавив эту часть от высоты пограничного слоя H_{ABL} к H_p . Вместо N_0^2/N^2 будем использовать экспоненциальную функцию $\exp(-N^2/N_0^2)$, которая для небольших значений N^2 ограничивает рост H_p замещением $1/N^2$ на $1/(1+N^2/N_0^2)$, и в тоже время для больших значений N^2 , она быстро достигает нуля, что характерно в случае очень устойчивой стратификации.

Таким образом, конечный вид формулы сводится к следующему виду:

$$H_p = \alpha H_{ABL} + \beta \left(\frac{FRP}{P_{f0}} \right)^\gamma \exp(-\delta N^2 / N_0^2) \quad (9)$$

Значения эмпирических констант можно предположить из следующих соображений: α составляет ту часть пограничного слоя, которая преодолевается свободно, β отражает вклад вносимый в подъем дымовой струи радиационной мощностью пожара, γ вводится для оценки степенной зависимости от FRP , δ определяет зависимость от атмосферной стратификации в свободной тропосфере. Их примерный диапазон будет:

$$\alpha < 1, \beta > 0 \text{ м}, \gamma < 0.5, \delta \leq 0.$$

Сопряжение блока расчета характерных высот подъема дымовых газов от массивированных источников горения (в масштабе РФ) по спутниковым данным с численной моделью атмосферы SILAM

Довольно сложной задачей препроцессинга метеорологических данных является задача оценки высоты пограничного слоя атмосферы [Maryon R., 1994; Seibert P., 1981; Sørensen J., 1998]. При расчетах в модели SILAM использовался «метод сухой частицы» (dry parcel method). Метод сухой частицы рассчитывает высоту пограничного слоя, как высоту, на которой виртуальная потенциальная температура равна температуре на поверхности плюс некая константа const ($\text{const} = 0,5 \text{ К}$ для устойчивой стратификации и 1.2 К для неустойчивой).

Для диагностики характеристик нижнего слоя тропосферы в модели используется метод, предложенный Гениховичем и Осиповой, Гросманом и Гениховичем. Данный метод основывается на формуле вертикального коэффициента вихревой диффузии [Генихович Е., 1984]:

$$K_z = \left\{ 0.5k \int_0^{z_k} \frac{\left[\left(\frac{dU}{dz} \right)^2 - \left(\frac{\sigma B}{Pr} \right) \left(\frac{d\theta}{dz} \right) \right]^{5/4}}{\left(\frac{dU}{dz} \right)^2 - 0.5 \left(\frac{\sigma B}{Pr} \right) \left(\frac{d\theta}{dz} \right)} dz \right\}^2 \quad (10)$$

где $z_k \sim 1 \text{ м}$ – высота, на которой коэффициент вихревой диффузии определяется; σ – безразмерная константа, равная 5 и 12 для устойчивой и неустойчивой стратификации атмосферы соответственно; $B = g / T_0$ – параметр силы плавучести; g – ускорение свободного падения; T_0 – абсолютная температура у поверхности; Pr – число Прандтля. Градиент потенциальной температуры – $\frac{d\theta}{dz}$ определяется по формуле

$$\frac{d\theta}{dz} = \frac{dT}{dz} + \gamma_a \quad (11)$$

Данная процедура диагностирования таких характеристик пограничного слоя, как динамическая скорость, масштаб длины Обухова, температуры, влажности, потоков явного и скрытого тепла, имеет следующие преимущества:

- процедура основывается на переменных (температура, скорость ветра и влажность), которые достаточно хорошо верифицируются на численных моделях прогнозирования;
- процедура не включает в себя численное дифференцирование, следовательно, можно избежать проблемы несоответствующего разрешения

Результаты

Для оценки качества расчетных полей атмосферного аэрозоля использованы данные приборов MODIS (ИСЗ Terra, Aqua). Для оценки перемещения воздушных масс и аэрозольного поля использовалась региональная модель эволюции аэрозольной примеси на основе программного кода Silam.

Расчет проводился для совокупности пожаров $\{f_i, i = 1 \dots N_f\}$, данные об интенсивности которых доступны из спутниковых наблюдений MODIS во время пролета спутника над горящей территорией $\{\tau_j, j = 1 \dots N_\tau\}$. Из этих данных доступна радиационная мощность пожара $FRP - P_f(\tau)$ для каждого пожара f и времени пролета над ним τ . Комплект соответствующих месту и времени метеорологических характеристик: высота пограничного слоя $H_{ABL}(x, y, t)$, и частота Брента-Вейселя $N^2(x, y, z, t)$, извлекается из данных реанализа Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды ERA 40.

$$\sum_{k=1}^K e(i, j, k, m) = 1 \quad (12)$$

Предполагая линейную зависимость между интенсивностью пожара и общим объемом выбросов [Kaufman Y., 1998], можно записать плотность распределения продуктов горения от конкретного пожара следующим образом:

$$E_f(z) = \int_T P_f(t) s_e(x_f, y_f) \frac{\partial E_s}{\partial z}(H_{pf}, z) dt \quad (13)$$

где $s_e(x_f, y_f)$ – коэффициент эмиссии (emission factor, кг/Вт), который соотносит мощность пожара P_f с интенсивностью выбросов; $\frac{\partial E_s}{\partial z}$ – плотность вертикально-

го распределения удельной интенсивности выбросов и H_{pf} – максимальная высота выбросов.

Рассчитав выбросы от конкретного единичного пожара (13), необходимое распределение в каждой ячейке сетки (i, j) может быть определено через суммирование всех пожаров, которые имеют место внутри каждой ячейки в течении месяца:

$$E(i, j, z, m) = \frac{\sum_f E_f(z)}{\int_0^\infty \sum_f E_f(z) dz} \quad (14)$$

Для определения конечной плотности внутри вертикального слоя k , который задается от $z_{k-1/2}$ до $z_{k+1/2}$, получаем:

$$e(i, j, k, m) = \int_{z_{k-1/2}}^{z_{k+1/2}} E(i, j, z, m) dz \quad (15)$$

Следовательно, решение данной задачи сводится к определению трех переменных в уравнении (13).

Оценка суточного хода интенсивности пожара P_f с использованием редких наблюдений с низкоорбитальных спутников, таких как MODIS, является трудной задачей. С другой стороны, суточный ход интенсивности пожара и, как следствие, его скорость и высота выбросов, могут изменяться на порядок величины, что необходимо учитывать.

Из анализа геостационарных спутниковых наблюдений за FRP (например, MGSSEVIRI), можно определить суточный ход радиационной мощности пожара для каждого пикселя P_{pixel} с учетом интенсивности пожаров и времени наблюдения $p(h)$, $h = 1 \dots 24$. Пиксель данных инструментов достаточно велик (в зависимости от угла наблюдения, площадь пикселя может превышать 100 км^2) и обычно дает только суммарную информацию о большом количестве пожаров:

$$P_{pixel} = \sum_{i=1}^{N_{fpix}} P_{fi} \quad (16)$$

где P_{fi} – мощность i -го пожара, находящегося в области пикселя.

Таким образом, информация об индивидуальных пожарах не может быть получена из геостационарных наблюдений. Взаимное влияние количества пожаров внутри одного пикселя и их интенсивности на общий суточный ход мощности P_{pixel} может быть оценено используя информацию со спутника TRMM. В работе [Roberts G., 2009] продемонстрировано, что количество пожаров меняется в 2–10 раз в зависимости от времени суток, характера подстилающей поверхности и типа растительности.

Суточный ход радиационной мощности пожаров, представленный ниже, был получен при использовании информации с инструмента SEVIRI, находящегося на борту спутника MSG, информации о количестве пожаров со спутника TRMM.

ССрок	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00	00:00
$FFRP$	1.41	1.47	2.81	4.87	5.64	4.22	2.17	1.41

Частота Брента-Вяйсяла и высота пограничного слоя также были получены для соответствующих сроков. Таким образом, высота выбросов определялась

для каждого срока в день, когда спутник обнаруживает горящий источник, исходя из предположения, что горение происходит в течение всего дня. Максимальная высота выбросов определялась в каждый срок для каждого дня, когда был обнаружен источник горения.

Оценка качества расчетных значений максимальных высот подъема дымовой струи осуществлялась на независимом комплекте данных, содержащие восстановленные трехмерные поля концентраций для территории Сибири за 2011 г. Результаты оценки качества представлены на рис. 1.

Как следует из представленных данных, около 70 % расчетных значений высоты подъема струи, определённых по предложенной методике, находится в пределах коридора в 500 м, соответствующего вертикальному разрешению региональной модели эволюции примеси.

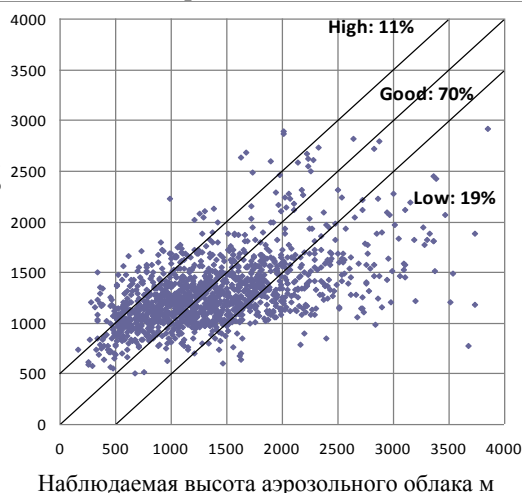


Рис. 1. Соотношение высот выбросов, рассчитанных новым методом, с высотами выбросов из данных спутникового мониторинга

Для оценки качества расчетных полей в качестве трехмерных характеристик атмосферного аэрозоля были использованы карты распределения массовой концентрации дымового аэрозоля, определенной по результатам обработки данных полученных со всех пролётов MODIS над исследуемой областью за период с 14 по 25 июня 2012 г.; размер элемента (пикселя) карты составляет 10×10 км.

На рис. 2 представлены карты пространственного распределения массовой концентрации дымового аэрозоля

Согласно результатам модельных расчётов, основная масса аэрозольных и дымовых частиц, образовавшихся вследствие лесных пожаров, выбрасывается на высоты 1,5–2,5 км, где в дальнейшем осуществляется их горизонтальный перенос воздушными массами. Пробелы данных в распределении массовой концентрации вызваны невозможностью восстановления соответствующих параметров вследствие ограничений методики, которая не позволяет получать ко-

нечные значения над участками с высокой отражательной способностью - плотная облачность, водная поверхность или густой дымовой шлейф.

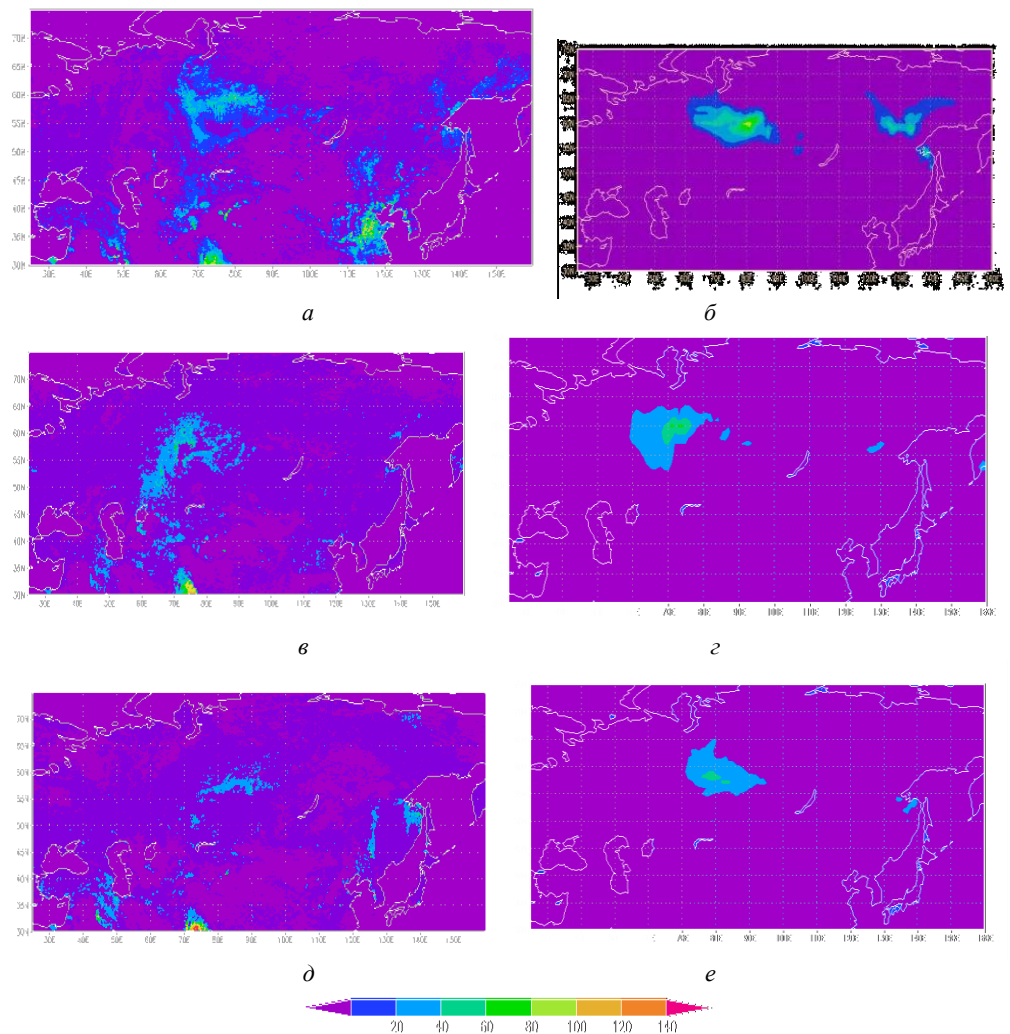


Рис. 2. Сравнение восстановленного поля аэрозоля с данными моделирования

Распределение модельной массовой концентрации по высотам достаточно хорошо согласуется с полем определенным по спутнику по форме и площади аэрозольного облака

Заключение

Показано, что разработанная методика расчета высоты выбросов от лесных пожаров может быть включена в локальные и региональные модели атмосфер-

ных циркуляций для прогнозирования условий работы авиационного и других видов транспорта, а также безопасности жизнедеятельности населения при крупных массовых лесных пожарах и задымлении местности.

Результаты моделирования могут быть использованы широким кругом специалистов, занимающихся изучением свойств атмосферы Земли, проблемами глобального переноса пылевых частиц, влиянием на радиационный баланс и климат Земли, оптические свойства атмосферы, проблемой Атмосферных Коричневых Облаков и прочими экологическими проблемами.

В отсутствии ряда эмпирических параметров, в силу невозможности их оперативного определения для каждого очага пожара, и локальной динамической метеорологии, крайне необходимой для численных термогидродинамических моделей, средние, регионально-характерные высоты выбросов, получаемые по предложенной методике расчета высоты подъема дымовой струи могут быть более показательными методиками. Полученные расчетные поля массовой концентрации дымового аэрозоля вполне адекватны данным наблюдения. Разработанная модель применима для проведения имитационного моделирования переноса и стока аэрозолей на территории РФ: отсутствуют нежелательные отрицательные значения; перенос аэрозолей происходит различным образом в зависимости от реального распределения полей ветра.

Литература

- Генихович Е.Л. Определение коэффициента турбулентности по данным стандартных метеорологических наблюдений // Тр. ГГО, 1984, № 479, p. 62-69.
- Dozier J. A method of Satellite Identification of Surface Temperature fields of subpixel resolution // Remote Sensing of Environment, 1981, № 11, p. 221-229.
- Giglio L. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS // Remote Sensing of Environment, 2003, № 87, p. 273-282.
- Giglio L. Global distribution and seasonality of active fires as observed with the Terra and Aqua Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensors // J. of Geophysical Res., 2006, № 111, G02016.
- Huber P.J. Robust statistics // New York: John Wiley and Sons. Kahn R.A. Aerosol source plume physical characteristics from space-based multiangle imaging // Geophysical Research Letters, 2007, № 112, p. 1-20.
- Kahn R.A. Wildfire Smoke Injection Heights – Two Perspectives from Space // Geophys. Res. Lett., 2008, № 35, GL032165.
- Kaufman Y. J Potential global fire monitoring from EOS-MODIS // J. of Geophysical Research-Atmospheres, 1998, № 103, p. 32215-32238.
- Labonne M. Injection height of biomass burning aerosols as seen from a spaceborne lidar // Geophys. Res. Lett., 2007, № 34, GL029311.
- Matson M. Identification of subresolution high temperature sources using a thermal IR sensor // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1981, № 47, p. 1311-1318.
- Maryon R.H. Tropospheric dispersion: the first ten days after a puff release // Quart. J. of Royal Meteorological Society, 1994, № 121, p. 1799-1833.
- Nelson D. MISR Plume Height Climatology Project: Quality Statement and Error and Bias Analysis // Multi-angle Imaging SpectroRadiometer [Electronic resource]: Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology / NASA.–Washington, USA.–Access point of: <http://www-misr2.jpl.nasa.gov/EPA-Plumes/suggestions4UsingData.cfm>.

- Nelson D.L.* Example applications of the MISR Interactive eXplorer (MINX) software tool to wildfire smoke plume applications // *Remote Sensing of Fire: Science and Application*, 2008, № 7089, p. 708909-708909.
- Roberts G.* Annual and diurnal african biomass burning temporal dynamics // *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009, № 5, p. 849-866.
- Seibert P.* Review and inter-comparison of operational methods for the determination of the mixing height // *Atmospheric Environment*, 1981, № 47, p. 1311-1318.
- Seinfeld J.H.* From air pollution to climate change // *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2006, 2nd ed.
- Sofiev M.* An operational system for the assimilation of the satellite information on wild-land fires for the needs of air quality modelling and forecasting // *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009, № 9, p. 6833-6847.
- Sofiev M.* Diagnosing the surface layer parameters for dispersion models within the meteorological-to-dispersion modeling interface // *J. of Applied Meteorology and Climatology*, 2009, № 47, p. 1311-1318.
- Sofiev M.* Evaluation of injection height of smoke from wild-land fires using remote sensing data // *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, № 11, p. 27937-27966.
- Stull R.B.* An introduction to boundary layer meteorology, Kluwer Academic Publishers // Kluwer Academic Publishers, 1998.
- Sukhinin A.I.* Remote Sensing of Fire Intensity and Burn Severity in Forests of Central Siberia, in *Contemporary Problems of Earth Remote Sensing from Space* // Space Research Institute RAS.
- Sørensen J.H.* Sensitivity of the DERMA long-range Gaussian dispersion model to meteorological input and diffusion parameters - application to meso- and large-scale atmospheric diffusion // *Atmospheric Environment*, 1998, № 32, p. 4195-4206.
- Val Martin M.* Smoke injection heights from fires in North America: Analysis of 5 years of satellite observations // *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, № 10, p. 1491-1510.
- Wang J.* Mesoscale modeling of central American smoke transport to the United State: 1. Topdown assessment of emission strength and diurnal variation impacts // *J. of Geophysical Research*, 2006, № 111, D05S17.

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.3.1 федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (проект № 14.В37.21.1528 от 01 октября 2012 г.).

Т.С. Ермакова, Р.Е. Ванкевич, Ю.Л. Рудакова

**ОЦЕНКА ТРЕХМЕРНОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЙ АЭРОЗОЛЯ
В РАЙОНАХ ИНТЕНСИВНОГО ЗАДЫМЛЕНИЯ
ОТ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИЗ КОСМОСА**

T.S. Ermakova, R.E. Vankevych, Y.L. Rudakova

**EVALUATION OF THREE-DIMENSIONAL SPATIAL FIELD
DISTRIBUTION OF AEROSOL IN THE WILD-FIRE SMOKE
AREAS ON THE BASIS OF REMOTE SENSING DATA**

В работе представлены результаты оценки трехмерного пространственного распределения полей аэрозоля в районах интенсивного задымления от лесных пожаров на основе данных дистанционного зондирования из космоса. Использование восстановленных трехмерных полей концентрации аэрозоля в заданном регионе с высоким пространственным разрешением по данным спутникового зондирования атмосферы в приложении к оценке задымленности от пожаров производится впервые.

Ключевые слова: концентрация аэрозоля, выбросы от лесных пожаров, спутниковые данные, лесные пожары.

This article presents the results of a three-dimensional spatial field distribution of aerosol in the wild-fire smoke areas on the basis of remote sensing data. The use of reduced three-dimensional fields of aerosol concentration in a given region with high spatial resolution remote sensing data on the atmosphere in the annex to the assessment of smoke from the fires was made for the first time.

Key words: aerosol concentrations, wild-fire emissions, remote sensing data.

Введение

Тепловые и дымовые выбросы обширных лесных пожаров меняют динамику атмосферы, процессы циркуляции воздушных масс и, тем самым, погодные условия в отдельных регионах. Оперативные оценки концентрации в атмосфере аэрозолей от лесных пожаров, включая их подробное пространственно-временное распределение – актуальная проблема, которая в силу ограничений каждого из методов не может быть разрешена. При этом, высота подъема выбросов от лесных пожаров является определяющим фактором продолжительности атмосферного цикла, трансформации и влияния на перемещение загрязняющих воздух веществ.

Целью представляемых исследований является получение осредненного за неделю распределения аэрозоля в трехмерном пространстве с последующей верификацией эволюции полей примесей в моделях атмосферного переноса и химических трансформаций. Данный продукт должен нести информацию об общем распределении аэрозоля по вертикали и горизонтали, а также о верхней границе аэрозольного облака.

Методология

Из числа представленных оперативных продуктов наибольший интерес для настоящего проекта представляют данные с инструментов MODIS и CALIPSO, входящих в состав американо-французской орбитальной группировки спутников A-train (подробная информация на <http://atrain.nasa.gov/>) на солнечно-синхронной орбите высотой 690 км и с углом наклона 98,2 °. Спутники из A-train пролетают над одной и той же точкой земной поверхности с интервалом в несколько минут, что позволяет сформировать высокоточную трёхмерную картину атмосферы в зоне пролета. Спутники совершают вокруг Земли 14 витков в день. Спутник Aqua с инструментом MODIS пересекает европейскую часть России приблизительно в 13:00 по местному времени. Спутники в данном «поезде» находятся на расстоянии от нескольких секунд до нескольких минут друг от друга. Таким образом, есть возможность практически одновременно получать широкий спектр параметров, используемых в развитии наук о Земле.

MODIS

Четвертым «вагоном» в этом поезде выступает спутник Aqua. Инструмент MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) на борту спутника Aqua измеряет излучение на 36 длинах волн, от 0,41 до 14 $\mu\text{м}$. Полоса обзора сенсора длиной в 2330 км обеспечивает почти глобальное покрытие каждый день. Разные алгоритмы используются для получения измерений оптической плотности аэрозоля над поверхностью суши и водной поверхностью.

Над поверхностью суши оптическая плотность аэрозоля измеряется на следующих длинах волн: 0,47, 0,55, и 0,66 $\mu\text{м}$ [Kaufman, 1997]. Этот же алгоритм измерения используется и в прибрежных районах. Данные возможно получить только над темными поверхностями. Пиксели, содержащие снег/лед и облачные пиксели маскируются. После маскирования темные пиксели отбираются в зависимости от данных отражения с этих пикселей на 2,12 мкм длине волны. Далее пиксели сортируются в зависимости от значений отражательной способности на 0,66 мкм длине волны и 20% самых темных, а также 50% самых ярких внутри каждой десятикилометровой ячейки отбрасываются [Kittaka, 2011].

В исследовании использовались данные с инструмента MODIS, прошедшие предварительную обработку в процессинговом центре NASA, представленные в виде продукта 2-го уровня – MODIS Atmosphere Level 2 Joint Product. Данный продукт содержит целый спектр ключевых параметров, таких как аэрозоль, водяной пар, облако, профиль и маска облачности, которые были получены из стандартного комплекта продуктов второго уровня (рис. 1). Этот новый продукт был специально разработан, чтобы свести к минимуму передачу данных и требования к хранению, но при этом оставался достаточно ясным и полезным для пользователей. Научные базы данных, содержащиеся в этом продукте, охватывают полный набор наиболее интересных параметров, получаемых со спутника, и имеют пространственное разрешение в 5 и 10 км (в надире).

Данные по аэрозолям, облачной фазе и оптические параметры облаков доступны только в дневное время. В то время как водяной пар, верхняя граница облаков, облачная маска, отражение от перистых облаков и параметры профиля доступны как днем, так и ночью [<http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/JOINT/index.html>].

Аэрозольные алгоритмы MODIS используют мультиспектральное излучение наряду с углом рассеяния для того, чтобы определить тип аэрозоля и суммарную оптическую плотность [Remer, 2005]. Продукты пятой коллекции (collection 05) включают в себя следующие типы аэрозоля: растворимый в воде, влажная морская соль и пыль. Недавние усовершенствования в алгоритмах, теперь позволяют получать информацию о выбросах от пожаров даже в сложных условиях [Hsu, 2006].

Пятая коллекция продуктов оптической плотности аэрозоля с инструмента MODIS прошла тщательную проверку, и качество данных стало более понятным. Последовательный пролет CALOP и Aqua друг за другом делает возможным получение большого количества измерений аэрозоля, выполненных по всему земному шару практически одновременно обоими спутниками. Сравнение оптической плотности аэрозоля с инструментах MODIS и CALIOP позволяет уточнить информацию о качественном представлении профилей CALIOP [Remer, 2005; Kahn, 2007].

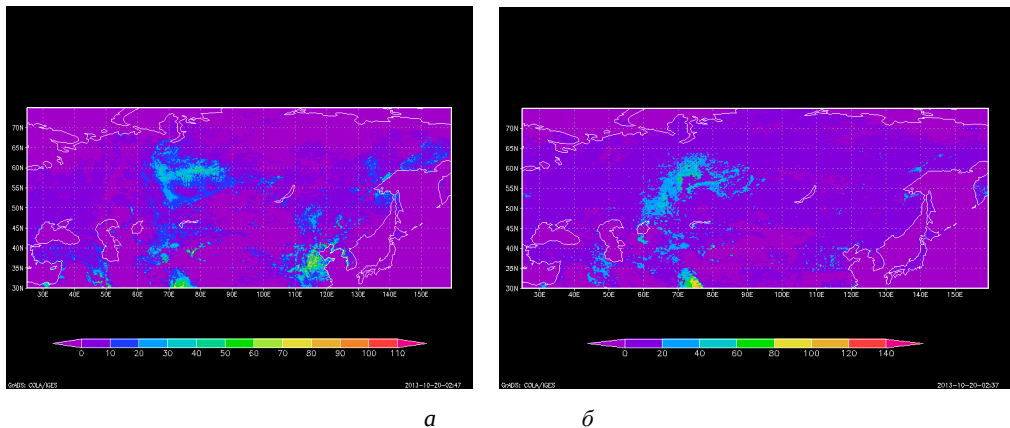


Рис. 1. Интегральная концентрация выбросов аэрозоля от лесных пожаров осредненная за неделю
а – с 14 по 20 июня 2012 г., *б* – с 28 июня по 4 июля 2012 г.

CALIPSO

Третьим в этой цепочке следует спутник CALIOP с инструментом CALIPSO на борту. CALIOP (Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization) – лидар с ортогональной поляризацией для наблюдения за облаками и аэрозолем. Прибор предназначен для получения вертикальных профилей при упругом рассеянии от слоя облаков в различное время суток, а также для описания распределения в нём водяных паров, аэрозолей и пыли.

Инструмент обеспечивает высокое вертикальное разрешение и позволяет получать информацию о профилях аэрозоля, находящегося выше облачности и ниже оптически тонких облаков, а также в безоблачных условиях. Спутник CALIOP действует с июня 2006 года и с того времени впервые появилась возможность получать многолетние записи аэрозоля в трехмерной виде [Winker, 2009].

CALIPSO – активный сенсор, который делает измерения атмосферных составляющих в определённом диапазоне. Ему не требуются предположения о вертикальном распределении и отражательной способности поверхности, которые являются фундаментальными для большинства пассивных измерений.

Несмотря на то что лидарные измерения обратного рассеяния не зависят от поверхностных эффектов, они страдают от необходимости определения аэрозольного отношения ослабления к обратному рассеянию (an aerosol extinction-to-backscatter ratio) S_a (так же называемое аэрозольно-лидарным отношением) для того, чтобы рассчитать ослабление от сигналов обратного рассеяния лидара. В зависимости от значения S_a на разных длинах волн (532 и 1064 нм) аэрозоль делят на следующие типы: пыль (в основном пыль с пустыни), загрязненный континентальный аэрозоль, загрязненная пыль (комбинация пустынной пыли и выбросов от лесных пожаров), дым (выбросы от лесных пожаров), чистый континентальный аэрозоль (так называемый фоновый аэрозоль), чистый морской аэрозоль [Omar, 2009].

Данные по оптической плотности аэрозоля, полученные с MODIS-Aqua, представляют собой двумерное поле, интегрированное по высоте, однако эти данные можно сопоставить с данными CALIOP по дневным профилям экстинкции аэрозоля (рис. 2).

Значения коэффициентов экстинкции получают в три этапа [Winker, 2009]:

- находятся профили обратного рассеяния послойно, с горизонтальным осреднением от 1/3 км до 80 км;
- Идентифицированные слои классифицируются как облака или аэрозоли;
- извлекаются данные о профилях экстинкции, начиная с самых верхних полученных слоев и двигаясь по направлению к земной поверхности.

Извлеченные данные по аэрозолям дальше представляются в виде слоев горизонтально осредненных по 5 км, 20 км или 80 км. Конечные результаты представлены на пятикилометровой горизонтальной шкале в продукте с названием – 5-km Aerosol Layer Product. Результаты 20-км и 80-км слоев повторяются по 4 и 8 раз соответственно в данном продукте.

Данные экстинкции, полученные из упругого обратного рассеяния лидара, такого как CALIOP, недооценены и необходимо дополнительное ограничение. В том случае, когда имеется приподнятый слой аэрозоля, то есть над и под этим слоем только чистый воздух, коэффициент пропускания через этот слой может быть выведен из сигналов чистого воздуха по обе стороны этого слоя [Young, 1995]. Если отношение сигнал/шум этих сигналов чистого воздуха достаточно

высоко, тогда измеренный сигнал пропускания может быть использован как необходимое ограничение для данных экстинкции. Для CALIOP отношение сигнал/шум при ясном небе редко бывает достаточно высоким в дневное время (за счет солнечного фона), что делает невозможным применение такой методики. Следовательно, для получения дневных данных необходимо использовать алгоритм для оценки «лидарного отношения» (отношение экстинкции частицы к 180-градусному обратному рассеянию) из данных обратного рассеяния на длине волны 0,532 мкм и деполяризованных сигналов, что обеспечит необходимое ограничение для данных по экстинкции [Omar, 2009]. Данные по экстинкции аэрозоля извлекаются из слоев над облачным покровом и ниже оптически тонких облаков, так же как и в безоблачных столбцах, но только внутри идентифицированных аэрозольных слоев [Young, 2009].

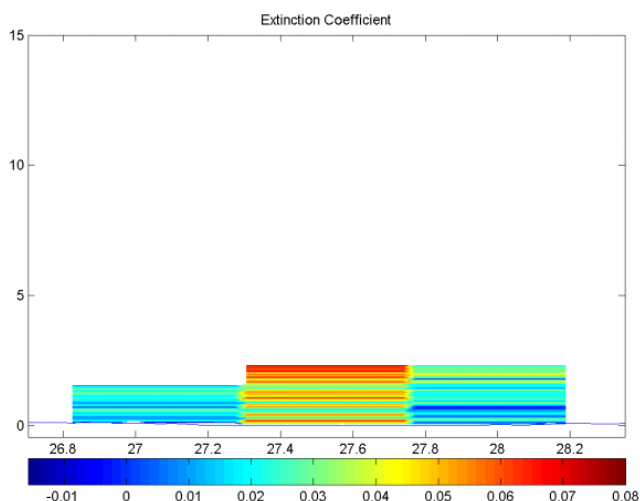


Рис. 2. Профиль аэрозольной экстинкции по данным CALIPSO.
Тонкой голубой линией обозначена высота поверхности

В данной работе расчетные трехмерные поля концентраций аэрозоля получаются на основе синергии спутниковых данных, содержащих информацию о вертикальных профилях сканирования атмосферы («профили») с данными панорамной съемки, представляющие собой двумерные «слои» интегральных по всей толще атмосферы данных.

«Профили» состоят из последовательности импульсов в вертикальном направлении, отображаемых на двумерной плоскости, где ось x – (горизонтальная) линия проекции лучей на поверхность Земли, а ось y – (вертикальная) высота. Линейность лучей подразумевает линейность времени, так как импульсы испускаются с постоянной частотой в 20,16 Гц для CALIOP. Так как спутниковый «поезд» путешествует с приблизительно постоянной скоростью в 7 км/с,

ось x также линейна относительно пройденного расстояния. Вследствие того, что импульсы не излучаются на регулярных высотах, точки с данными должны быть проинтерполированы на регулярную сетку. Это делается интерполяцией с округлением (до ближайшего соседнего).

После процедуры регуляризации на сетке, данные о вертикальном распределении коэффициента экстинкции отфильтровывались на основе процедуры статистического анализа. Конечной целью преобразования профиля экстинкции являлось уменьшение зашумленности данных.

Трехмерное поле массовой концентрации аэрозоля восстанавливалось путем распределения двумерного поля массовых концентраций, определенных по формулам (4.1.26)–(4.1.27) из данных MODIS, по 20 вертикальным слоям (толщина слоя 500 м) в соответствии с приведенным к безразмерному виду профилями CALIPSO. Пример горизонтального и вертикального распределения поля аэрозоля приведен на рис. 3.

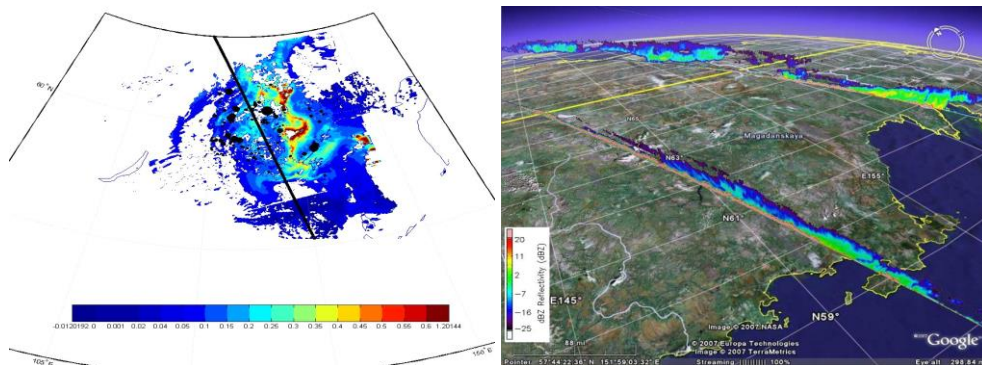


Рис. 3. Распределение аэрозольной оптической плотности по данным MODIS, где черной линией обозначен пролет CALIPSO, а черными точками – горящие лесные пожары; чем больше точка, тем интенсивнее идет горение (слева); вертикальное распределение аэрозольной оптической плотности по данным CALIPSO (справа)

Результирующие поля спроецированы на регулярную сеточную область, таким образом, сформирован 4х мерный цифровой массив, отражающий эволюцию осредненных за 7 дней полей трехмерного распределения аэрозоля над территорией РФ.

Заключение

По результатам проведенных работ создана база данных очагов возгорания, спутниковых профилей концентраций аэрозоля трехмерных полей концентраций аэрозоля за 2006–2012 гг. на территории РФ. База данных представляет собой регуляризированные цифровые массивы на сеточной области с пространственным разрешением 10×10 км, вертикальным разрешением 100 м, спутниковых профилей и полей интегральных концентраций аэрозоля, а также восста-

новленных на их основе трехмерных полей концентраций аэрозоля за 2006–2012 гг. на территории Российской Федерации (рис. 4).

Построены зависимости величины аномалии ТПО от скорости ветра. Показано, что для рассмотренных случаев аномалии ТПО зависят не только от скорости ветра, но и от градиента температуры в термоклине.

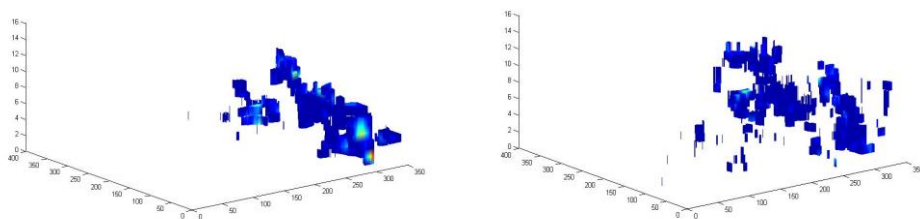


Рис. 4. Трехмерное поле выбросов от лесных пожаров, осредненное за неделю. Московская область, 2010 г., слева – с 29 июля по 4 августа, справа – с 6 по 12 августа

Проведенный анализ показал перспективность комбинирования данных пассивных (инфракрасных измерений) с измерениями активных сканирующих систем для более точного определения типа, микрофизических свойств и происхождения аэрозольных частиц для двумерных интегральных полей систем пассивной панорамной съемки. В свою очередь статистический анализ собранного многолетнего массива данных совмещенных в пространстве измерений MODIS и CALIPSO существенно облегчает интерпретацию данных CALIPSO о вертикальном распределении аэрозоля в атмосфере.

В то же время следует отметить, что между различными спутниковыми данными существуют серьезные несогласованности, которые связаны с разрешением датчика, частотой наблюдения и временем пролета, спектральными свойствами датчиков, и недостатками алгоритмов дешифровки. Ожидается, что указанные несогласованности будут частично разрешены за счет ассимиляции полученных данных в физически корректную модель эволюции атмосферного аэрозоля.

Литература

- Hsu, N. C., S. C. Tsay, M. D. King, and J. R. Herman, 2006: Deep blue retrievals of Asian aerosol properties during ACE-Asia. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 44, 3180–3195.
- Kahn, R. A., Garay, M. J., Nelson, D. L., Yau, K. K., Bull, M. A., Gaitley, B. J., Martonchik, J. V., and Levy, R. C.: Satellite-derived aerosol optical depth over dark water from MISR and MODIS: Comparisons with AERONET and implications for climatological studies, *J. Geophys. Res.*, 112, D18205, doi:10.1029/2006JD008175, 2007.
- Kaufman, Y. J., Tanr'e, D., Remer, L. A., Vermote, E. F., Chu, A., and Holben, B. N.: Operational remote sensing of tropospheric aerosol over land from EOS moderate resolution imaging spectroradiometer, *J. Geophys. Res.*, 102, 17051–17067, 1997.
- Kittaka, C., Winker, D. M., Vaughan, M. A., Omar, A., and Remer, L. A.: Intercomparison of column aerosol optical depths from CALIPSO and MODIS-Aqua, *Atmos. Meas. Tech.*, 4, 131–141, <http://dx.doi.org/10.5194/amt-4-131-2011>doi:10.5194/amt-4-131-2011, 2011.

- Omar, A., Winker, D., Kittaka, C., Vaughan, M., Liu, Z., Hu, Y., Trepte, C., Rogers, R., Ferrare, R., Kuehn, R., and Hostetler, C.: The CALIPSO Automated Aerosol Classification and Lidar Ratio Selection Algorithm, *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 26, 1994–2014, doi:10.1175/2009JTECHA1231.1, 2009.
- Remer, L. A., and Coauthors, 2005: The MODIS aerosol algorithm, products, and validation. *J. Atmos. Sci.*, 62, 947–973.
- Winker, D.M., Vaughan, M.A., Omar, A., Hu, Y., Powell, K. A., Liu, Z., Hunt, W. H., and Young, S.A.: Overview of the CALIPSO mission and CALIOP data processing algorithms, *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 26, 2310–2323, doi:10.1175/2009JTECHA1281, 2009.
- Young, S.A.: Analysis of lidar backscatter profiles in optically thin clouds, *Appl. Optics*, 34, 7019–7031, 1995.
- Young, S. A. and Vaughan, M.A.: The retrieval of profiles of particulate extinction from Cloud Aerosol Lidar Infrared Pathfinder Satellite Observations (CALIPSO) data: Algorithm description, *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 26, 1105–1119, doi:10.1175/2008JTECHA 1221.1, 2009.

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.3.1 федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (Соглашение №14.В37.21.1528 от 01 октября 2012 года).

Е.А. Григорьева, Н.Я. Чичик

ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА КОЛИЧЕСТВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ХАБАРОВСКЕ

Е.А. Grigorieva, N.Ya. Chichik

TEMPORAL DYNAMICS OF PRECIPITATION IN Khabarovsk

На основании анализа данных по количеству осадков по станции Хабаровск делается вывод, что для получения надежных средних по количеству осадков следует принять в качестве основного весь период инструментальных наблюдений. Распределение осадков в Хабаровске существенно неоднородно как во внутригодовой, так и межгодовой временной динамике. В целом выявлено увеличение количества осадков в период 1911-1981 гг., а для конца XX – начала XXI в. характерно их уменьшение. Для второй половины XX в. характерно заметное увеличение климатической экстремальности количества осадков.

Ключевые слова: осадки, временная динамика, тренд, Хабаровск.

Using data on precipitation at Khabarovsk it is concluded that all period of observation is necessary to take as main to calculate norm of precipitation. Distribution of precipitation in inter-annual and temporal dynamics is sufficiently heterogeneous. In whole precipitation rising is revealed for the period 1911–1981, and its decreasing – for the end of XX – beginning of XXI century. Noticeable increasing of precipitation climatic extremality is characteristic for the second half of the XX century.

Key words: precipitation, temporal dynamics, trend, Khabarovsk.

Осадки являются важнейшей составной частью климатической информации. Это один из наиболее значимых климатических параметров. Исследование режима многолетней динамики атмосферных осадков является важнейшей задачей климатологии. Осадки, как и другие метеорологические характеристики, определяют состояние многих природных явлений и влияют на жизнь человека. Известно также, что климатические данные могут использоваться в производственной практике в качестве сверхдолгосрочного прогноза [11]. В связи с этим знание режима выпадения осадков необходимо для устойчивого развития многих отраслей экономики: гидроэнергетики, строительства, сельскохозяйственного производства, лесного хозяйства, рекреации и курортологии, отраслей транспорта. Осадки определяют режим увлажнения и количество доступной для растений влаги, влияют на урожайность сельскохозяйственных культур.

Для характеристики погоды в многолетнем режиме принято использовать величину, называемую климатической нормой. Еще в 60-е гг. XX в. ВМО рекомендовало для расчетов нормы тридцатилетний период наблюдений. В то же время период осреднения, используемый при выведении значения норм, зависит от многих факторов: во-первых, от целей использования климатической информации, во-вторых, от самой усредняемой метеорологической величины [1, 3, 7, 11 и др.]. При этом задача определения рациональной для осреднения продолжительности периода для вычисления нормы затруднена, так как метеорологические элементы характеризуются разной изменчивостью во времени [7].

Более того, выбор длины ряда, оптимального для получения устойчивых норм, существенно осложняется текущими изменениями климата.

Метеостанция Хабаровск открылась в 1878 г., а непрерывные наблюдения начались только в 1910 г. [8]. За весь период выпущено два климатических справочника, содержащих информацию по этой станции: в 1966–1969 и в 1992 гг. [10, 12], а также книга [8], в которые не включены сведения о конце XX–начале XXI вв., времени быстрых климатических изменений. Нами изучена временная динамика количества атмосферных осадков на станции Хабаровск за почти столетний период наблюдений для уточнения режима динамики атмосферных осадков и для обоснования длительности ряда, оптимального для вычисления норм сумм осадков как в целом за год, так и для отдельных периодов и месяцев года. Выполненное исследование представляет большой практический и прогностический интерес для работников гидрометеослужбы и для различных отраслей хозяйства.

Использованы материалы за период наблюдений с 1911 по 2012 г., в которых нарушения однородности устранены введением поправки на смачивание и ветрового коэффициента. Исходные данные об осадках предоставлены ФГБУ «Дальневосточное УГМС». Исследование проведено с применением метода скользящих средних, регрессионного анализа, последовательного анализа.

Средняя за год сумма осадков за весь период наблюдений составила 614 мм (табл. 1). Количество осадков минимально в холодный период (ноябрь–март) – 69 мм и максимально в теплое время года (апрель–октябрь) – 545 мм (соответственно 11 и 89 % от годового количества). Такая межсезонная динамика объясняется особенностями муссонного климата умеренных широт на юге Дальнего Востока.

Таблица 1

**Статистические характеристики атмосферных осадков
во внутригодовой динамике, Хабаровск**

Характеристика	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Холодный период XI-III	Теплый период IV-X	Годовое количество
Среднее значение, мм	10	9	15	35	57	74	121	129	85	41	20	14	69	545	614
σ , мм	8,3	6,9	12,4	22,3	25,9	38,0	67,2	66,1	47,6	26,5	12,6	13,2	31,3	134,7	142,7
Коэффициент вариации, %	80	80	81	64	45	51	56	52	56	64	64	93	45	25	23

Представляется, что для использования в практических целях норм сумм осадков для станции Хабаровск лучше всего их рассчитывать как среднее за весь период наблюдений. Прежде всего, эта метеорологическая величина обла-

дает значительной пространственно-временной неоднородностью [6]. Способ скользящих средних с осреднением за 30 лет выявил хорошо выраженную тенденцию увеличения осадков и их межгодовой изменчивости в Хабаровске, особенно ярко проявившуюся в 80-е гг. XX в. В 1921–1950 гг. отклонение от среднего составляло –87 мм – почти столько же, сколько и в период с 1961 по 1990 г., но с обратным знаком. Для начала XXI в. характерна тенденция уменьшения количества осадков (рис. 1).

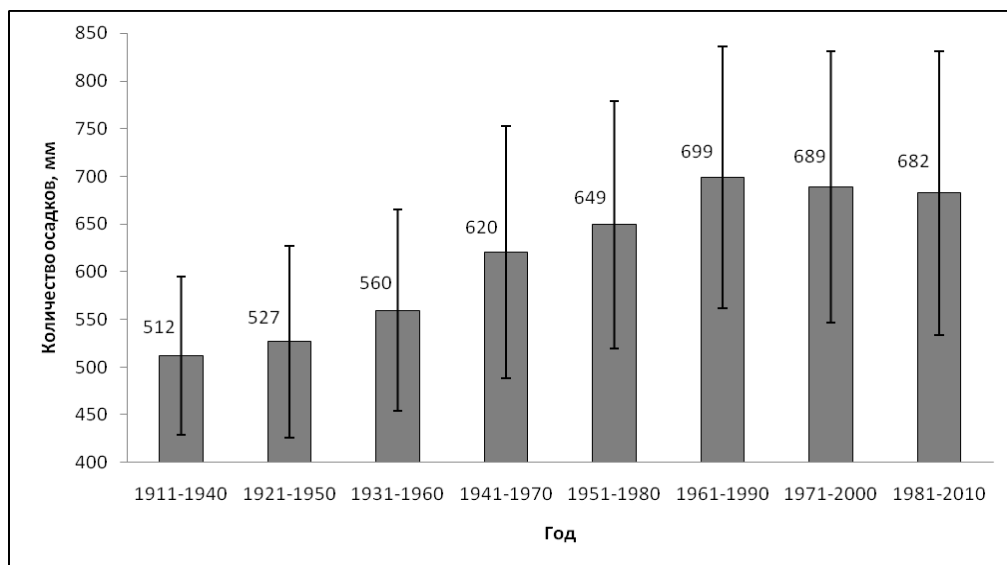


Рис. 1. Динамика изменения скользящих тридцатилетних средних годового количества осадков в Хабаровске

В качестве меры временной изменчивости атмосферных осадков обычно используют среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации [9]. Как видно из табл. 1, годовое количество осадков характеризуется высокой временной неоднородностью в основном за счет значительной изменчивости сумм атмосферных осадков в теплый период года. Режим увлажнения имеет очень неустойчивый характер, что особенно проявляется во внутригодовой динамике. Осреднённое значение коэффициента вариации за год и по полугодиям невысоко; в целом холодному времени года присущи более высокие значения. Более подробные исследования во внутригодовой динамике показывают, что в отдельные месяцы коэффициент вариации достигает 100 %, что говорит о значительных отклонениях изучаемой величины от среднего значения, т.е. неустойчивости увлажнения (табл. 1).

Исследована также климатическая экстремальность годовых величин количества выпадающих осадков, выраженная в долях среднего квадратического отклонения (σ), которая заметно меняется в течение столетия: если до 1950 г. выявлен один случай в 1941 с изменчивостью, равной -2σ , то во второй поло-

вине века таких случаев три: в 1962, 1971 и 1981 гг. (соответственно +2,4; +2,2 и +3,6σ).

Для интегральной характеристики временной изменчивости осадков используются величины разной обеспеченности (табл. 2). В 80 % числа случаев обеспечено выпадение годовой суммы осадков, равной 480 мм; практически каждый год обеспечено выпадение осадков не менее 390 мм (обеспеченность 95 %). Средние значения количества осадков как за отдельные месяцы, так и за год в целом обеспечены в 40 % случаев, что характерно, например, и для Москвы [4].

Таблица 2

Месячные и годовые суммы осадков (мм) разной обеспеченности, Хабаровск

Месяц	Обеспеченность, %										
	95	90	80	70	60	50	40	30	20	10	5
I	1	2	3	5	6	8	10	12	16	22	27
II	0	2	3	4	6	7	8	11	14	20	25
III	1	3	5	7	10	12	14	17	20	30	36
IV	8	10	16	20	26	30	35	41	50	66	80
V	20	24	33	41	49	54	60	68	75	94	110
VI	17	24	40	52	60	67	74	90	107	130	145
VII	28	45	64	77	90	104	120	148	180	220	243
VIII	40	54	78	90	102	115	130	150	180	217	248
IX	26	37	47	59	69	80	90	101	114	140	163
X	8	11	19	24	30	38	42	50	61	81	103
XI	4	5	8	1	15	18	20	3	28	36	43
XII	2	3	4	5	7	9	12	15	21	30	37
Год	390	425	480	520	550	570	615	675	720	798	865

Ц.А. Швер [13] для ответа на вопрос, какое число лет наблюдений требуется, чтобы средняя стала практически постоянной и не зависела от длительности наблюдений, предлагает использовать метод последовательного анализа. Метод заключается в том, что производится последовательное осреднение данных, начиная с последних лет до самого раннего года из имеющихся на данной станции. Проведенные нами расчеты показали, что для получения устойчивой средней как за год, так и за теплое время года по станции Хабаровск имеющегося ряда наблюдений пока недостаточно. Для устойчивой средней по холодному полугодию следует использовать 85-летний ряд наблюдений. Среднее значение для отдельных месяцев становится постоянным в холодное время года с 75–80 лет, в теплое полугодие – начиная с 75 лет (для мая) и до 90. Для отдельных месяцев имеющегося периода наблюдений для определения этой величины еще недостаточно.

В связи с тем, что атмосферные осадки обладают большой изменчивостью, а также учитывая существенные колебания климата, особенно в конце XX–начале XXI вв., различия в нормах, полученных при 30-летнем осреднении, по сравнению со средней для всего периода наблюдений, достигают значительных

величин. Наиболее близки к средним 30-летние осреднения за 1941–1970 гг.: отклонения составляют 1 % для среднегодового значения, –11 % для холодного полугодия и +3 % – для теплого. Отклонение средней за 1961–1990 гг. от средней за весь период наблюдения составляет для годовой величины 14 %, для холодного и теплого периодов – 18 и 13 % соответственно. Во внутригодовой динамике наибольшие отклонения 30-летних средних от средней за 1911–2012 гг. зафиксированы для марта (от –48 до 44 % для 1911–1940 и для 1981–2010 гг. соответственно). Для летних месяцев и для теплого периода в целом такие колебания около средней за весь период наблюдений менее существенны.

В нормах за 30 лет происходит также смещение максимальных и минимальных величин в годовом ходе. Еще О.А. Дроздов с соавт. [5], обсуждая вопрос о вычислениях среднего многолетнего количества осадков, делают вывод, что для обеспечения устойчивости средних многолетних месячных значений осадков недостаточно использовать короткие (25–30 лет) ряды наблюдений, так как при этом может проявиться искажение годового хода и смещение максимума.

Известно, что в муссонном климате Дальнего Востока максимум количества осадков приходится на летние месяцы июль и август [8]. Проведенное нами исследование показало, что при сглаживании по 30-летиям максимум в основном приходится на август, но есть периоды с июльским максимумом, тогда как осреднение за весь период наблюдений указывает на экстремальность количества осадков в августе (табл. 1, рис. 2).

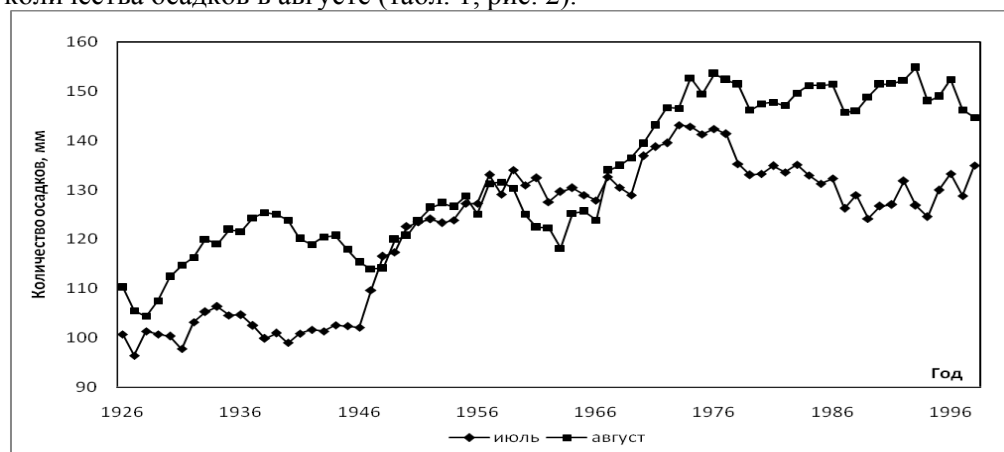


Рис. 2. Количество осадков в июле и августе при сглаживании по 30-летиям, Хабаровск

Минимум количества атмосферных осадков в изучаемых климатических условиях приходится на февраль (табл. 1). Тем не менее, при 30-летнем сглаживании для некоторых временных интервалов минимум выпадает и на январь, что свидетельствует о смещении минимальных величин в годовом ходе.

Вычисление норм из рядов, превышающих 30 лет (например, 50-летнее сглаживание), приводит к отклонению значений величин от средней до 11–13 % за год и до 27 % в отдельные месяцы (табл. 3).

Таблица 3

**Соотношение среднего количества осадков за 1911-2012 гг.
и за отдельные 50-летние периоды, %, Хабаровск**

Период осреднения	Год	Холодный период	Теплый период	Январь	Апрель	Июль	Октябрь
1911-1960	-13	-20	-11	-27	-22	-15	-11
1921-1970	-6	-11	-4	-13	-15	-4	-4
1931-1980	-1	4	0	-4	1	-2	-2
1941-1990	6	11	7	-3	8	5	9
1951-2000	10	24	9	15	15	10	17
1961-2010	11	37	9	33	21	14	14

Таким образом, проведенные исследования показали, что отмечаются значительные расхождения в осредненных величинах при изменении периода осреднения, и для получения надежных средних по количеству осадков по станции Хабаровск следует принять в качестве основного весь период инструментальных наблюдений.

Анализ 100-летнего ряда непрерывных метеорологических наблюдений позволил выявить некоторые особенности во временном режиме атмосферных осадков по станции Хабаровск за период с 1911 по 2012 г. Максимальное значение годовых сумм наблюдалось в 1981 г. (1105 мм), минимальные – в 1941 и 2001 гг. (334 и 382 мм соответственно). Экстремальные месячные и по периодам суммы осадков представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Экстремальные суммы осадков (мм) по месяцам, за холодный и теплый периоды
за 1911–2012 гг., Хабаровск**

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Холод- ный период	Теп- лый период
Максимум													
36 1982	33 1979	64 2007	130 1983	146 1994	199 1991	301 1962	434 1981	304 1956	126 1972	71 1996	95 2010	143 1997	1048 1981
Минимум													
0 1978 2008	0 1951 1962	0 1933	2 1917	15 1929	2 1986	7 1974	25 1989	15 1976	2 1976	1 1958	1 1938	26 1952	223 1941

Самый сухой теплый сезон наблюдался в 1941 г. (223 мм – 42 % от средней многолетней суммы), экстремально влажный – в 1981 г. (1048 мм), что превышает на 73 % даже годовую среднюю величину. Самый сухой холодный период с 26 мм осадков выявлен в 1952 г., самый влажный – в 1997 г. (143 мм).

Для изучения многолетнего хода метеорологических величин обычно применяют регрессионный анализ. Для станции Хабаровск не выявлено тренда, сопоставимого с межгодовыми вариациями. Тем не менее, величина тренда за период 1911–1940 гг. составляет +16 мм/10 лет, за период 1941–1970 – +80, 1981–2010 гг. – -54 мм/10 лет. При этом межгодовые вариации могут достигать ±400–

450 мм. В целом для периода до 80-х гг. XX в. выявлена тенденция увеличения годового количества осадков до 70 %, а позже – уменьшения. На рис. 3 приведен временной ряд среднегодовых аномалий атмосферных осадков, рассчитанных как отклонения от среднего за 1961–1990 гг. Можно видеть, что увеличение количества осадков наблюдалось до 1960-х гг., затем произошел некоторый спад, сменившийся вторым максимумом в 1980-е гг., после которого началось снижение количества осадков.

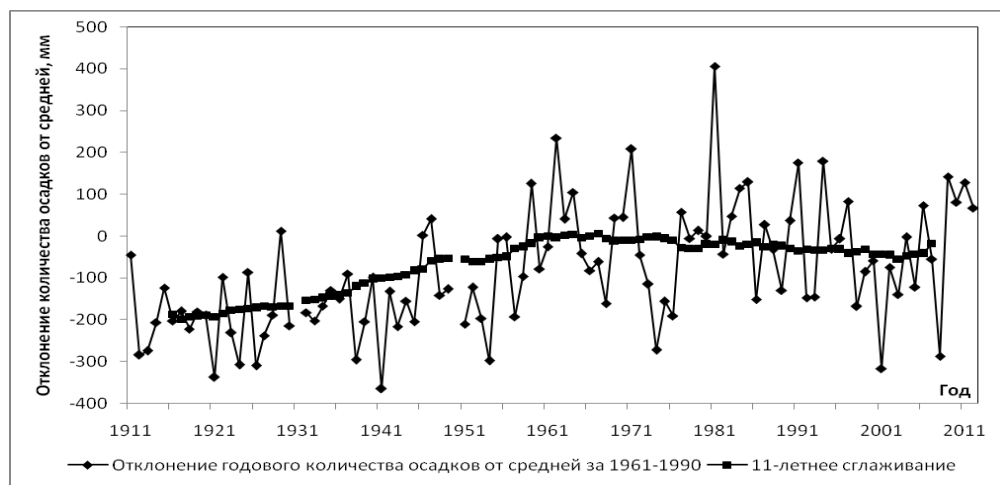


Рис. 3. Среднегодовые аномалии атмосферных осадков как отклонение от среднего за 1961–1990 гг. (жирная кривая – 11-летнее сглаживание), Хабаровск

Г.В. Груза с соавт. [2] провели детальное исследование пространственно-временной динамики атмосферных осадков для России по данным инструментальных наблюдений. Полученные ими оценки для Приамурья и Приморья практически совпадают с нашими результатами для станции Хабаровск и существенно отличаются от средних для России. Так, в целом для территории России характерно увеличение количества осадков в течение 1907–2006 гг., особенно явно выраженное за последние десятилетия глобальных климатических изменений (1976–2000 гг.). Тренд для Приморья и Приамурья [2] за столетний период в целом также положителен, но за последние десятилетия отмечена явная тенденция снижения сумм атмосферных осадков. Приведенная на рис. 3. динамика аномалий несколько отличается от картины, характерной в целом для Приморья и Приамурья [2], где максимум середины 60-х гг. XX в. сразу сменяется устойчивым снижением количества наблюдаемых осадков.

Таким образом, по результатам проведенного исследования можно сформулировать следующие выводы.

1. Показано, что для получения надежных средних по количеству осадков по станции Хабаровск следует принять в качестве основного весь период инструментальных наблюдений.

2. Распределение осадков по станции Хабаровск существенно неоднородно как во внутригодовой, так и межгодовой временной динамике. В целом выявлено увеличение количества осадков в период 1911–1981 гг., а для конца XX–начала XXI в. характерно их уменьшение. Для второй половины XX в. характерно заметное увеличение климатической экстремальности количества осадков.

Рассчитанные нами статистически достоверные характеристики режима осадков могут быть использованы в практических целях специалистами разного профиля.

Литература

1. *Батталов Ф.З.* Многолетние колебания атмосферных осадков и вычисление норм осадков. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1968. – 143 с.
2. *Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В.* Климатические изменения атмосферных осадков на территории России по данным инструментальных наблюдений // Бюлл. «Использование и охрана природных ресурсов в России», 2007, № 5, с. 37-42.
3. *Давитая Ф.Ф.* Климатические нормы и взаимосвязь различных природных факторов // Метеорол. и гидрол., 1966, № 3, с. 5-9.
4. *Дерюгина Н.П., Ларин Л.Г., Сенников В.А., Чирков Ю.И.* Вековой режим атмосферных осадков в Москве // Метеорол. и гидрол., 1987, № 1, с. 56-60.
5. *Дроздов О.А., Шарова В.Я., Швер Ц.А.* К вопросу вычисления среднего многолетнего количества осадков // Труды ГГО, 1963, вып. 148, с. 98-114.
6. *Дроздов О.А., Григорьева А.С.* Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1971. – 158 с.
7. *Заварина М.В.* О климатических нормах и оптимальном периоде наблюдений // Метеорол. и гидрол., 1966, № 2, с. 44-47.
8. Климат Хабаровска / Под ред. Ц.А. Швер. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 175 с.
9. *Кобышева Н.В., Гольберг М.А.* Методические указания по статистической обработке метеорологических рядов. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 85 с.
10. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Ч. 1-6. Вып. 25: Хабаровский край, Амурская область. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 560 с.
11. *Сапожникова С.А.* О климатических нормах // Метеорол. и гидрол., 1963, № 2, с. 47-52.
12. Справочник по климату СССР. Вып. 25. Ч. 4. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 275 с.
13. *Швер Ц.А.* Закономерности распределения количества осадков на континентах. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 285 с.

П.В. Дружинин

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ КАРЕЛИИ

P.V. Druzhinin

CLIMATE CHANGE IMPACTS ON AGRICULTURAL YIELDS OF KARELIA

В статье исследуется влияние происходящих сейчас климатических изменений на развитие сельского хозяйства. Рассматриваются модели, позволяющие выявить влияние различных факторов, прежде всего температуры и осадков на урожайность. Проанализированы данные по урожайности отдельных регионов Северо-Запада России. Проведены расчеты на данных по Республике Карелия. Показано, что для зерновых и картофеля влияние потепления незначительно, а для овощей значимо.

Ключевые слова: сельское хозяйство, потепление, урожайность, зерновые, картофель, овощи.

The paper examines the impact of climate change is now occurring on the development of agriculture. The models that reveal the influence of different factors, especially temperature and precipitation. Data on yields of certain regions of the North-West of Russia analyzed. The calculations were performed on the data for the Republic of Karelia. It is shown that for cereals and potatoes warming effect is insignificant, and the vegetable is significant.

Key words: agriculture, warming, yield, cereals, potatoes, vegetables.

Развитие экономики российских регионов в ближайшие годы будет зависеть от глобальных климатических изменений, к которым необходимо будет адаптироваться. Исследование степени влияния данных факторов и путей адаптации к ним выполняется по проекту № 12-22-18005a/Fin, который поддержан и финансируется РГНФ.

За время наблюдений были отмечены периоды потепления и похолодания климата, были выявлены квазициклические колебания анализируемых параметров. Наблюдения показывают, что возможно в настоящее время происходит глобальное потепление климата, которое, начиная с 70-х годов XX в., заметно ускорилось. На территории Европейского Севера отмечается положительная динамика изменения средней годовой температуры воздуха на протяжении примерно 100 лет. Первое десятилетие XXI века стало рекордно теплым за все 160 лет наблюдений, результаты которых позволяют оценить среднюю глобальную температуру [Воробьев, Саруханян, Смирнов, 2005; Оценка ..., 2011; Стратегический ..., 2005; Филатов, Назарова, Сало, 2007]. За последнее десятилетие на озерах Европейского Севера отмечается увеличение безледоставного периода, Онежское озеро очищается ото льда примерно на 8–10 дней раньше. Результаты исследований показывают, что климат и общая увлажненность водосбора подвержены значительным естественным колебаниям, к которым добавляется влияние антропогенного фактора [Филатов, Назарова, Сало, 2007; Ульянец, Мاستрюков, Червякова, Угрюмов, 2010].

Климатические изменения оказывают заметное влияние на экономику практически всех стран, растет мировой экономический ущерб от крупномасштабных природных бедствий [Mendelsohn, Nordhaus, Shaw, 1994]. Влияние климатических изменений на развитие российских регионов неоднозначно и для его оценки необходимо построить системное описание объекта, выявить наиболее подверженные влиянию сектора и построить модели для проведения расчетов. Как считается, гидрометеорологические факторы влияют на темпы роста валового внутреннего продукта (ВВП) России и валового регионального продукта (ВРП) российских регионов негативно. Рост количества жарких дней ведет к росту смертности, для Москвы пороговой величиной для роста смертности является среднесуточная температура 25°. В 2010 г. смертность в большинстве российских регионов жарким летом выросла, в Карелии в июле превысила уровень предыдущего года на 12,5 %. Также происходит рост заболеваемости, прежде всего аллергий и инфекционных болезней [Порфирьев, 2011; Ревич, Шапошников, 2012]. Жаркое лето 2010 г. наибольший урон нанесло рыбному хозяйству Карелии, высокая температура привела к массовой гибели выращиваемой рыбы.

Экономические исследования последствий изменения климата показали, что наибольшее влияние ожидается в следующих секторах региональной экономики: сельское хозяйство, использование прибрежных ресурсов, энергетика, лесное хозяйство, туризм, рыбное хозяйство и водоснабжение [Порфирьев, 2011; Оценка ..., 2011].

Больше всего проведено исследований влияния климатических изменений на развитие сельского хозяйства. В основном изучалась урожайность различных культур на региональном уровне, для оценки изменения которой рассматривались различные виды уравнений, аналогичных производственным функциям [Adams, Rosenzweig, Ritchie, Peart, Glyer, McCarl, Curry, Jones, 1990; Adams, Hurd, Lenhart, Leary, 1998; Mendelsohn, Nordhaus, Shaw, 1994; Tol, 2009]. Чанг Ч. использовал полиномы второй степени для анализа урожайности зерновых в зависимости от средних по сезонам осадков и температуры и показал, что влияние данных климатических характеристик значительно и нелинейно. Также он предложил рассматривать в качестве факторов уровень менеджмента и технологический уровень [Chang, 2002]. Дечинес О. и Гринстоун М. отметили положительный эффект замены одной культуры на другую, более урожайную, при повышении средней температуры в регионе [Deschênes, Greenstone, 2007]. Исследования в других странах показали, что условия для роста урожайности появляются в более северных регионах. Р. Мендельсон, В. Нордхаус и Д. Шоу доказали, что в них возможен рост урожайности за счет улучшения климатических условий и смены культур на более урожайные и требовательные к теплу, в то же время в южных регионах условия ухудшаются [Mendelsohn, Nordhaus, Shaw, 1994].

Влияние климатических изменений на сельскохозяйственное производство в РФ, прежде всего на урожайность, исследовалось еще в 80-х годах в работах

С. Сиптица, С. Огнивцева, Ф. Ерешко, О. Сиротенко, Х. Абашиной, В. Павловой и других. Исследования, проводившиеся в ВЦ АН СССР, показали, что отклонения от сложившейся тенденции были связаны именно с погодными аномалиями. Заметные климатические изменения последних лет способствовали росту количества исследований. Было показано, что изменения условий хозяйствования под влиянием климата могут быть ухудшающие и улучшающие для разных регионов [Сиротенко, Павлова, 2010; Филатов, Назарова, Сало, 2007]. Положительные сдвиги связаны с ростом продолжительности вегетационного периода и расширением зоны земледелия, а также косвенно может повлиять сокращение отопительного сезона и увеличение сроков навигации. Мягкие зимы способствуют повышению урожайности озимых, а при дальнейшем повышении температуры большее распространение могут получить такие теплолюбивые культуры, как подсолнечник. Соответственно могут снизиться затраты и увеличиться сельскохозяйственное производство, и по оценкам некоторых экспертов, РФ может получить прибавку до 0,6 % роста ВВП.

В то же время для сельского хозяйства могут ухудшиться условия в южных регионах страны, и появится потребность в переносе посевов отдельных культур в более северные регионы, меняя те культуры, которые традиционно выращивались в северных регионах. Также нужно будет быть готовыми к противостоянию засухам в южных регионах, и развивать инфраструктуру, адаптировать энергосистему страны, ведь потепление может привести к более сильным колебаниям температур [Оценка ..., 2011; Порфирьев, 2011; Стратегический ..., 2005].

Исследования показали, что наиболее значительное воздействие климатических изменений ожидается на сельское хозяйство российских регионов, причем по аналогии с результатами, полученными для американских регионов, выигрыш должны получить центральные и северные регион, в частности регионы Северо-Западного федерального округа. Для оценки данного влияния строится системное описание происходящих процессов, выделяются и описываются основные факторы, определяющие изменение показателей сельского хозяйства, прежде всего урожайности, собираются и анализируются данные по факторам и урожайности, строятся графики показателей, позволяющие выявить существующие зависимости [Дружинин, 2010].

После проведенного анализа данных разрабатываются модели, основу которых составляют регрессионные уравнения, в которых урожайность по регионам рассматривается в зависимости от нескольких факторов: климатических, агротехнических, состояния почвы, социально-экономических характеристик, уровня менеджмента, технологического уровня и особенностей конкретной культуры. Уравнения урожайности по регионам строятся по временным рядам для одного региона или кросс-секшн по регионам за один год, или панельные за несколько лет. Общая форма функций урожайности Y (для расчетов использовались мультипликативные или линейные функции):

$$Y = f(C, M, L, X), \quad (1)$$

где C – климатические характеристики; M – агротехнические; L – почвенные; X – социально-экономические и прочие характеристики.

Проводившиеся ранее исследования позволили отобрать перечень показателей, и анализ графиков взаимосвязей показателей на данных регионов Северо-Западного федерального округа позволил и показали, что для различных культур могут быть значимы разные факторы. Климатические характеристики могут быть представлены в виде полиномов второй степени или модуля отклонений от оптимальных значений. В качестве климатических характеристик рассматриваются летние и зимние средние сезонные или месячные температуры и суммарные осадки по сезонам или месяцам. Агротехнические показатели – внесение минеральных и органических удобрений на гектар посевов. Социально-экономические показатели позволяют учитывать состояние сельского хозяйства региона (объем и динамика инвестиций в сельское хозяйство), уровень развития экономики регионов (ВРП на душу населения), динамику развития экономики регионов (динамика ВРП или инвестиций в экономику региона) и некоторые другие их особенности. Для расчетов по панельным данным вводились специальные переменные.

На основе получаемых по строящимся функциям оценок и климатических сценариев, предлагаемых экспертами, можно строить и исследовать различные сценарии развития сельского хозяйства. В работах [Оценка ..., 2011; Порфирьев, 2011; Сиротенко, Павлова, 2010] рассмотрено множество сценариев, по которым могут происходить изменения климата. Для приближенных оценок степени влияния климатических изменений рассматривалось повышение средней температуры июля на 1° к 2030 г.

В статье представлено исследование влияния различных факторов на урожайность основных культур, выращиваемых в Республике Карелия и других регионах Северо-Запада [Дружинин, 1998; Толстогузов, 2010]. Большая часть информации была получена из статистических справочников ФСГС и данных различных ведомств [Регионы ..., 2012; Республика ..., 2012]. Для расчетов использовалась также информация, собранная институтами РАН и другими ведомствами [Оценка ..., 2011; Стратегический ..., 2005; Филатов, Назарова, Сало, 2007].

Предварительные исследования факторов, влияющих на динамику урожайности РФ, показали значительные отличия для разных сельскохозяйственных культур. Для зерновых важным оказалось влияние общих изменений в экономике, динамика урожайности зерновых в РФ сильно коррелирует с динамикой ВВП. Объяснить данный факт можно учитывая то, что выращивание и экспорт зерна стали приносить высокую прибыль, что начался процесс консолидации бизнеса и в 2000-х годах стал расти уровень менеджмента. Аналогичная картина наблюдается и в российских регионах, причем не только в южных, но и в северных. Урожайность зерновых падает в 90-х годах и с 2000 г. начинает

расти (рис. 1). Зависимость от ВВП и ВРП на душу населения урожайности зерновых для моделей по временным рядам можно связать с ростом уровня менеджмента и приходом новых технологий. Другие культуры этот процесс затронул гораздо меньше.

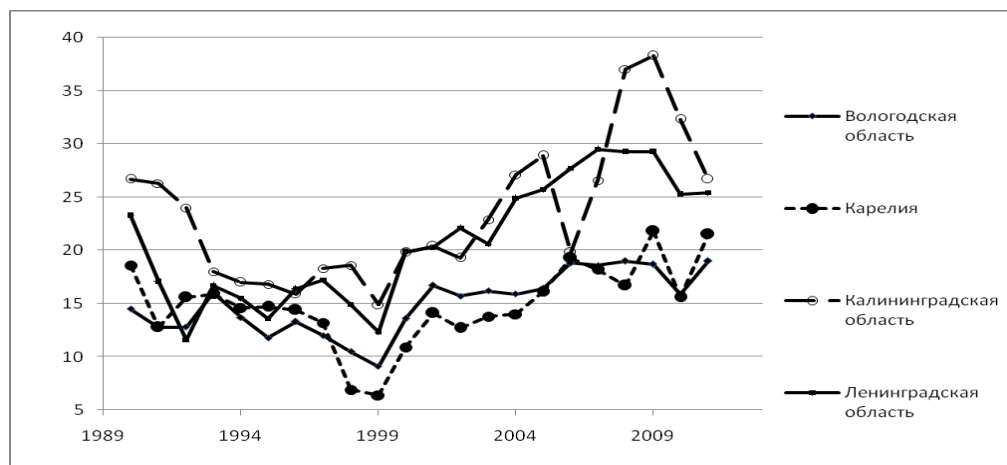


Рис. 1. Динамика урожайности зерновых в регионах СЗФО (ц/га) с 1990 г.

Для выявления факторов, которые надо включить в уравнение (1) и определения вида зависимости тщательно изучались данные. Первоначально анализировались исходные данные и производные от них, по исходным и сглаженным данным строились графики взаимосвязи показателей для приближенной оценки динамики факторных эластичностей и выделения подпериодов с различным поведением показателей. В результате определялись ограничения на параметры функций, и происходил выбор наиболее подходящих функций, прежде всего исходя из соответствия поведения факторных эластичностей. Затем проводились предварительные расчеты, отбрасывались бессмысленные результаты и с учетом полученных статистических характеристик отбирались функции урожайности. Для временного ряда почвенные характеристики не рассматривались, изменение состояния почв невелико в сравнении с варьированием социально-экономических и климатических характеристик. Во всех четырех рассматриваемых регионах преобладают подзолистые почвы, в Вологодской области также присутствуют каштановые солонцеватые и солончаковатые, в Ленинградской – дерново-карбонатные.

Детальное изучение данных проводилось по четырем регионам (Республика Карелия, Вологодская, Ленинградская и Калининградская области) по трем культурам (зерновые, картофель и овощи), динамика урожайности которых заметно отличалась. Изменения урожайности разных культур слабо связаны, а значит, вызваны, возможно, разными факторами (рис. 1, 2, 3). Расчеты проводились по трем сельскохозяйственным культурам по карельским данным по

июльским температуре и осадкам, и по всем четырем регионам по средним за летний сезон температуре и осадкам.

Урожайность зерновых в регионах СЗФО падала до начала 2000-х годов, затем стала расти, что близко к ее динамике для большинства регионов РФ. Зерновые выращивают в основном сельскохозяйственные предприятия, также в отдельные годы значима доля крестьянских (фермерских) хозяйств, а хозяйства населения практически не занимаются зерновыми. Значит, для данных регионов должны быть значимы изменения в уровне менеджмента и технологий, которые приходят в организациях, хотя посевные площади зерновых в некоторых регионах невелики и сокращаются.

Урожайность картофеля колебалась, не имея какой-либо тенденции, что можно связать с тем, что велика доля посевов личных подсобных хозяйств (в Карелии примерно 90 %), в которых отсутствуют технологические изменения (рис. 2). Наиболее высокая урожайность у крестьянских (фермерских) хозяйств, но их доля в посевных площадях незначительна.

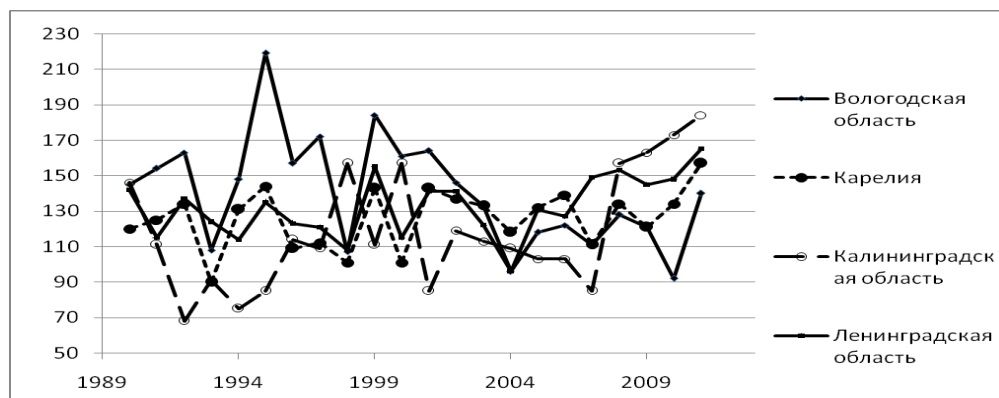


Рис. 2. Динамика урожайности картофеля в регионах СЗФО (ц/га) с 1990 г.

Урожайность овощей после непродолжительного спада стала расти (рис. 3). Увеличение урожайности частично связано с вложением инвестиций в освоение современных технологий. В Карелии благодаря трансграничному сотрудничеству реализовывалось множество инновационных проектов, некоторые из которых были направлены на передачу опыта и современных технологий по выращиванию овощей. После реализации проектов урожайность резко росла в отдельных предприятиях, но, к сожалению, из-за несоблюдения технологий через некоторое время падала. В Карелии примерно половину овощей выращивали сельскохозяйственные предприятия, но в последние годы их доля стала снижаться.

Анализ данных позволил выявить предварительные оптимальные значения средней температуры и осадков, отклонение от которых приводит к снижению урожайности. Для различных культур показатели отличаются, например, в Ка-

релии предварительные значения июльских осадков рассматривались в пределах от 70 до 180 мм, средняя июльская температура от 17 до 21°. В ходе расчетов данные оценки уточнялись.

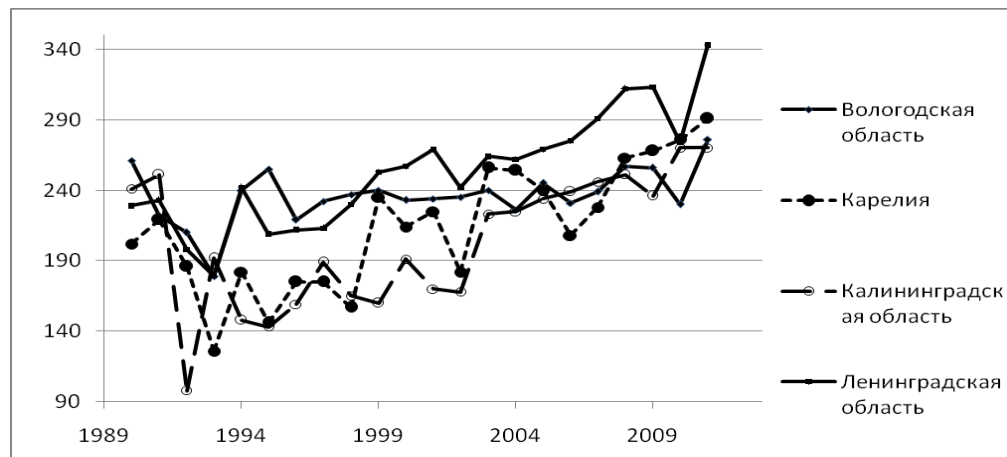


Рис. 3. Динамика урожайности овощей в регионах СЗФО (ц/га) с 1990 г.

Выделить влияние климатических факторов оказалось достаточно сложно. Вводилось понятие нейтрального технического прогресса, которое, как и в производственных функциях было представлено временной зависимостью $A(t)$. Использование экспоненты позволило определить приближенную оценку ежегодного прироста урожайности за счет не учитываемых в уравнении факторов. Отдельная проблема была связана с тем, что в начале 90-х годов экономические и производственные условия сильно отличались от последующего периода и некоторые показатели многократно превышали уровень 2000-х годов (инвестиции, ВРП, внесение удобрений). Поэтому расчеты проводились в целом за 1990–2011 гг. и отдельно за период с конца 90-х годов.

Для Карелии расчеты проводились по мультипликативной функции:

$$Y(t) = A(t) \times [T_0^2 - T^2(t)]^\mu \times [R_0^2 - R^2(t)]^\eta \times M^\nu(t) \times X^\sigma(t), \quad (2)$$

где T_0 – оптимальная температура; T – отклонение от оптимальной температуры; R_0 – оптимальное количество осадков; R – отклонение от оптимального количества осадков; M – объем внесенных удобрений относительно 1990 г., X – социально-экономические и прочие характеристики. Параметры $\varepsilon_1 = \mu$, $\varepsilon_2 = \eta$, $\varepsilon_3 = \nu$ и $\varepsilon_4 = \sigma$ являются факторными эластичностями. Они показывают, на сколько процентов изменится урожайность, если соответствующий фактор вырастет на 1 %.

Для зерновых, как и при расчетах по России присутствует зависимость от ВРП на душу населения, который оказывает определяющее влияние, ее факторная эластичность $\varepsilon_4 = 1,09$. Значит происходящие с развитием экономики изменения уровня менеджмента и технологий, которые связаны с сельхозпредприя-

тиями и фермерскими хозяйствами влияют и в Карелии, несмотря на небольшие объемы сборов зерна. При исключении начала 90-х годов факторная эластичность по температуре невелика $\varepsilon_1 = 0,137$, а по осадкам еще меньше $\varepsilon_2 = 0,078$ при средних статистических характеристиках. В таком случае потепление на 1° может и не повысить урожайность зерновых.

Для картофеля определяющими оказались климатические характеристики, прежде всего осадки. Также был выделен незначительный отрицательный нейтральный технический прогресс $p = -0,004$, что связано с невысокой долей сельхозпредприятий в производстве картофеля. При исключении начала 90-х годов факторная эластичность по температуре еще меньше, чем в первом случае $\varepsilon_1 = 0,12$, а по осадкам ненамного больше $\varepsilon_2 = 0,15$ при невысоких статистических характеристиках. В результате можно предположить, что потепление на 1° принесет рост урожайности чуть больше, чем на 0,5 %.

Динамику урожайности овощей удалось объяснить только при добавлении технического прогресса и учете внесения минеральных удобрений, хотя значимость минеральных удобрений невелика. Исключение начала 90-х годов приводит к двухфакторной мультипликативной функции с нейтральным техническим прогрессом $p = 0,024$ (влияние инновационных проектов) и факторными эластичностями по температуре $\varepsilon_1 = 0,577$ и по осадкам $\varepsilon_2 = 0,1$. В соответствии с этой формулой потепление на 1° принесет рост урожайности лишь на 3,5 %.

В итоге можно сказать, что автоматического роста сельскохозяйственного производства не произойдет, ожидаемое потепление создаст потенциал для роста, для использования которого потребуются определенные усилия. Рост урожайности за счет потепления при сохранении традиционных культур будет незначителен. Большой эффект дадут повышение уровня менеджмента и переход к более современным технологиям. Также оказать положительное влияние может изменение структуры посевных площадей, переход к позднеспелым и более урожайным сортам и к новым, более теплолюбивым культурам, что требует уже сейчас увеличения вложений в сельскохозяйственную науку. Для того чтобы использовать открывающиеся возможности, и минимизировать ожидаемые потери, необходима адаптация регионов к ожидаемым климатическим изменениям и ориентация сельскохозяйственной науки на адаптационные проекты.

Литература

1. Воробьев В.Н., Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. «Глобальное потепление» – гипотеза или реальность? // Уч. зап. РГГМУ, 2005, № 1, с. 6-21.
2. Дружинин П.В. Экономическое развитие Карелии: некоторые итоги и проблемы // Проблемы прогнозир., 1998, № 1, с. 130-135.
3. Дружинин П.В. Об оценке влияния развития экономики на окружающую среду // Экон. и матем. методы, 2010, № 4, с. 3-11.
4. Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу / Под ред. В.М. Катцова, Б. Н. Порфирьева. – М.: Д'АРТ, 2011. – 252 с.
5. Порфирьев Б.Н. Природа и экономика: риски взаимодействия. – М.: Анкил, 2011. – 352 с.

6. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2012: Ст. сб. / Росстат. – М., 2012. – 990 с.
7. Ревич Б., Шапошиников Д. Изменения климата, волны жары и холода как факторы риска повышенной смертности в некоторых регионах России // Проблемы прогнозирования, 2012, № 2, с. 122-138.
8. Республика Карелия: Статистический ежегодник / Карелиястат. – Петрозаводск, 2012. – 354 с.
9. Сиротенко О.Д., Павлова В.Н. Новый подход к идентификации функционалов погоды-урожая для оценки последствий изменения климата // Метеорол. и гидрол., 2010, № 2, с. 92-100.
10. Стратегический прогноз изменений климата Российской Федерации на период до 2010–2015 гг. и их влияние на отрасли экономики России. – М.: Росгидромет, 2005. – 30 с.
11. Толстогузов О.В. Стратегия периферийного региона в условиях ограничения информации. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. – 486 с.
12. Ульянец Е.К., Мастрюков С.И., Червякова Н.В., Узрюмов А.И. Оценка сезонных особенностей изменения климата в Северо-Европейском регионе // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 13, с. 70-82.
13. Филатов Н.Н., Назарова Л.Е., Сало Ю.А. Региональный климат: возможные сценарии изменения климата Карелии. Похолодание или потепление? // Изв. РГО, 2007, т. 139, № 3, с. 72-79.
14. Adams R.M., Rosenzweig C., Ritchie J., Peart R., Glycer J., McCarl B.A., Curry B., Jones J. Global climate change and agriculture: an economic perspective // Nature, 1990, № 1(345), p. 219–224.
15. Adams R.M., Hurd B.H., Lenhart S., Leary N. Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review // Climate Res. 1998 №1(11). p. 19-30.
16. Chang C. The potential impact of climate change on Taiwan's agriculture // Agricult. Econ., 2002, № 1 (27), p. 51-64.
17. Deschênes O., Greenstone M. The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather // The Americ. Econ. Rev., 2007, № 1(97), p. 354-385.
18. Mendelsohn R., Nordhaus W., Shaw D. The impacts of global warming on agriculture: a Ricardian analysis // The American Economic Rev., 1994, № 4(84), p. 753-771.
19. Tol R. The Economic Effects of Climate // Change J. of Econ. Perspect., 2009, № 2(23), p. 29–51.

Г.Г. Тощакова

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ
КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ
ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ**

G.G. Toshchakova

**MODERN CLIMATE CHANGE TEMPERATURE
IN THE KOSTROMA REGION**

Проведены исследования климатических изменений температурного режима на территории Костромской области за весь период инструментальных наблюдений современными методами статистики.

Выявлен ступенчатый рост среднегодовой температуры воздуха связанный со ступенчатым ростом среднемесячных температур весенних месяцев начиная с 1988 г.

Ключевые слова: климатические изменения, температурный режим, ступенчатый рост температуры, среднегодовая температура, среднемесячная температура.

The researches of climatic changes in the temperature regime on the territory of the Kostroma region during the period of instrumental observations of modern methods of statistics. Revealed step growth of the average annual air temperature rise associated with a step by growth of average monthly temperatures in the spring months since 1988.

Key words: climate change, the temperature mode, step growth of temperature, average temperature, average temperature.

Проведенные в Росгидромете исследования показывают, что в настоящее время климатические условия на территории России существенно меняются. Вместе с тем, потепление на планете происходит неодинаково в разных регионах [2, 3]. Подобные выводы подтверждаются исследованиями ученых Российской академии наук, причем, если в целом по планете рост температуры воздуха составляет $+0,75^{\circ}$ за последние 100 лет, то для России, по данным ГГО им. А.И. Воейкова, он составляет $+1,29^{\circ}$, а в отдельных регионах, таких как Западная Сибирь и Забайкалье достигает $+1,5^{\circ}$ и $+1,65^{\circ}$, то есть региональные особенности изменений могут быть разными.

Чтобы выяснить проявляется ли глобальное потепление в конкретных природных характеристиках и на конкретной территории необходимо осуществить детальное исследование и моделирование динамики временных рядов. Поэтому целью настоящей работы является оценка климатических изменений одной из основных метеорологических характеристик – температуры воздуха на территории Костромской области.

Костромская область – один из крупнейших субъектов Российской Федерации, входящих в Центральный федеральный округ. Область расположена в центральной части Восточно-Европейской равнины. Граничит с Ивановской,

Ярославской, Вологодской, Кировской и Нижегородской областями. Территория области составляет 60,2 тыс. кв. км, на 74 % которых размещаются лесные угодья.

Само определение климата и расчетных климатических характеристик, предполагает условия стационарности, по крайней мере, за какой-либо интервал времени. Так в настоящее время определение климатических норм рекомендуется ВМО за период 1961–1990 гг. [5] за который средние значения допускаются стационарными. Поэтому стационарная модель является основополагающей для климатологии и все остальные виды моделей необходимо сравнивать и сопоставлять с ней. Модели временных рядов могут быть двух основных видов: простые однородные и композиционные [6].

На уровне рассмотрения простых моделей проявление изменений климата в многолетних временных рядах может быть двух основных видов:

- монотонные изменения в виде тренда,
- ступенчатые изменения, характеризующие переходы от одного стационарного состояния к другому.

Моделирование временных рядов включает три основные стадии:

- расчет параметров моделей;
- оценка эффективности нестационарных моделей по отношению к стационарной;
- оценка статистической значимости нестационарных моделей по отношению к стационарной.

Параметрами стационарной модели являются среднее значение (Y_{cp}) и среднеквадратическое отклонение (σ), определяемые по ряду наблюдений.

Модель ступенчатых изменений аналогична двум (или нескольким) стационарным моделям для двух (или нескольких) частей временного ряда, что характеризуется неизменностью во времени среднего значения и среднего квадратического отклонения для каждой части ряда:

$$Y_{1cp} = \text{const1}, Y_{2cp} = \text{const1}, \sigma_1 = \text{const1}, \sigma_2 = \text{const2}. \quad (1)$$

Момент ступенчатых изменений (t_n) определяется визуально или на основе дополнительной информации о факторе и дате нарушения стационарности (например, изменение индекса атмосферной циркуляции), а также может быть определен итерациями при достижении минимального значения суммы квадратов отклонений двух частей временного ряда:

$$SS = \sum_1^{n1} (Y_i - Y_{1cp})^2 + \sum_{n1+1}^n (Y_i - Y_{2cp})^2 = \min, \quad (2)$$

где $n1, n2$ – объемы каждой из двух частей временного ряда; SS – общая сумма квадратов отклонений.

Стандартное отклонение остатков ступенчатой модели для одной ступени и двух стационарных интервалов определяется по формуле

$$\sigma_{\text{ступ}} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 n_1 + \sigma_2^2 n_2}{(n_1 + n_2 - 1)}} \quad (3)$$

и для двух ступней и трех стационарных интервалов:

$$\sigma_{\text{ступ}} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 n_1 + \sigma_2^2 n_2 + \sigma_3^2 n_3}{(n_1 + n_2 + n_3 - 1)}}, \quad (4)$$

где $\sigma_{\text{ступ}}$ – стандартное отклонение остатков модели ступенчатых изменений; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – стандартные отклонения стационарных отрезков временного ряда; n_1, n_2, n_3 – объемы стационарных отрезков.

Модель линейного тренда выражается следующим уравнением:

$$Y(t) = b_1 t + b_0, \quad)$$

где t – время; b_1, b_0 – коэффициенты уравнения регрессии, определяемые методом наименьших квадратов (МНК):

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{\text{cp}})(t_i - t_{\text{cp}})}{\sum_{i=1}^n (t_i - t_{\text{cp}})^2}; \quad (6)$$

$$b_0 = Y_{\text{cp}} - b_1 t_{\text{cp}}. \quad (7)$$

Статистическая значимость модели линейного тренда оценивается по статистической значимости коэффициента b_1 или коэффициента корреляции R зависимости (1.7), который рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{\text{cp}})(t_i - t_{\text{cp}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{\text{cp}})^2 \sum_{i=1}^n (t_i - t_{\text{cp}})^2}}. \quad (8)$$

Статистическая значимость R определяется из условия $R \geq R^*$, где R^* – критическое значение коэффициента корреляции, определяемые при заданном числе степеней свободы (ν) и уровне значимости (α), где $\nu = n - 2$, n – объем ряда, $\alpha = 5\%$.

Для модели линейного тренда стандартное отклонение остатков вычисляется по формуле:

$$\sigma_{\varepsilon} = \sigma_y \sqrt{1 - R^2}, \quad (9)$$

где σ_y – стандартное отклонение исходного ряда (модель стационарного среднего); σ_{ε} – стандартное отклонение остатков относительно модели линейного тренда; R – коэффициент корреляции уравнения линейного тренда.

Для количественной оценки отличий модели тренда и модели ступенчатых изменений от модели стационарного среднего рассчитываются относительные погрешности по формулам:

$$\Delta_{\text{тр}} = \left(\frac{\bar{\sigma}_y - \bar{\sigma}_\varepsilon}{\bar{\sigma}_y} \right) \cdot 100\%; \quad (10)$$

$$\Delta_{\text{ступ}} = \left(\frac{\sigma_y - \sigma_{\text{ступ}}}{\sigma_y} \right) \cdot 100\%, \quad (11)$$

где $\Delta_{\text{тр}}$, $\Delta_{\text{ступ}}$ – относительные погрешности или отличия (в %) модели тренда и модели ступенчатых изменений от модели стационарной выборки; σ_y , σ_ε , $\sigma_{\text{ступ}}$ – стандартные отклонения остатков соответственно моделей случайной выборки, линейного тренда и ступенчатых изменений.

Следующее теоретическое положение состоит в том насколько полученное преимущество той или иной модели относительно базовой (стационарной) является статистически значимым. Для оценки статистической значимости монотонных (трендовых) и ступенчатых изменений во временных рядах применяется критерий Фишера, количественно показывающий, насколько статистически значимо отличаются остаточные дисперсии выбранных моделей от дисперсии временного ряда (стационарной модели). Статистики критерия Фишера для каждой из двух конкурирующих моделей по отношению к модели стационарной выборки вычисляются по формулам:

$$F_{\text{тр}} = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_\varepsilon^2}; \quad (12)$$

$$F_{\text{ступ}} = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{\text{ступ}}^2}. \quad (13)$$

В числителе всегда будет дисперсия исходного ряда наблюдений, т.к. она является наибольшей или, по крайней мере, равна остаточной дисперсии конкурирующей модели. В случае если расчетное значение статистики Фишера оказывается больше критического, то дисперсии двух моделей имеют статистически значимое различие и соответствующая модель (тренда или ступенчатых изменений) статистически эффективнее, чем модель стационарной выборки.

За основу формирования региональной базы данных по характеристикам термического режима на территории Костромской области приняты данные месячной дискретности: многолетние ряды среднемесячных температур воздуха, на основе которых были получены среднегодовые температуры. Многолетние ряды наблюдений за температурой воздуха на территории Костромской области выбраны на 14 метеостанциях с продолжительностью периода наблюдений от 60 до 90 лет.

Расположение метеостанций на территории области показано на рис. 1, из которого следует, что станции распределены по пространству достаточно равномерно и их число вполне достаточно для осуществления пространственных обобщений.

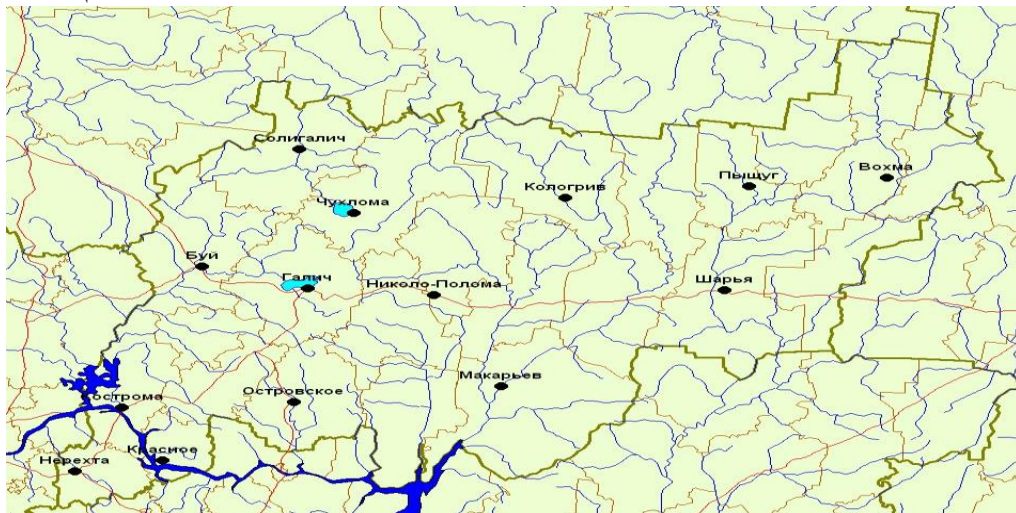


Рис. 1. Схема размещения пунктов наблюдений за температурой воздуха на территории Костромской области

Наблюдения по метеостанции Кострома являются наиболее продолжительными на территории рассматриваемого региона с началом регулярных наблюдений за температурой воздуха с 1842 г.

График среднегодовой температуры показан на рис. 2, из которого следует, что с конца 1980-х годов (с 1988 г.) наблюдается ступенчатое увеличение средней температуры примерно на $1,5^{\circ}\text{C}$.

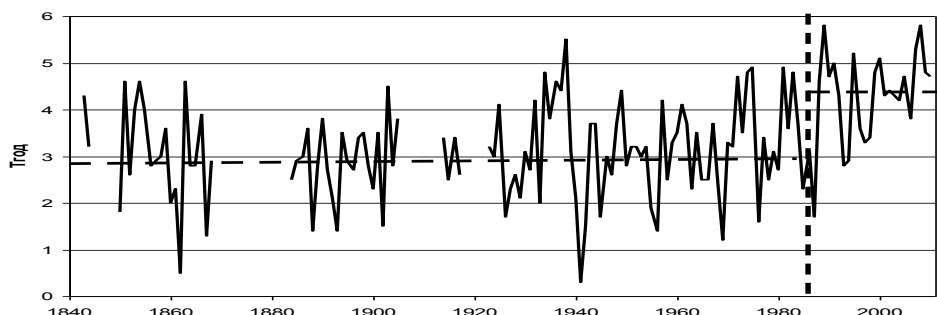
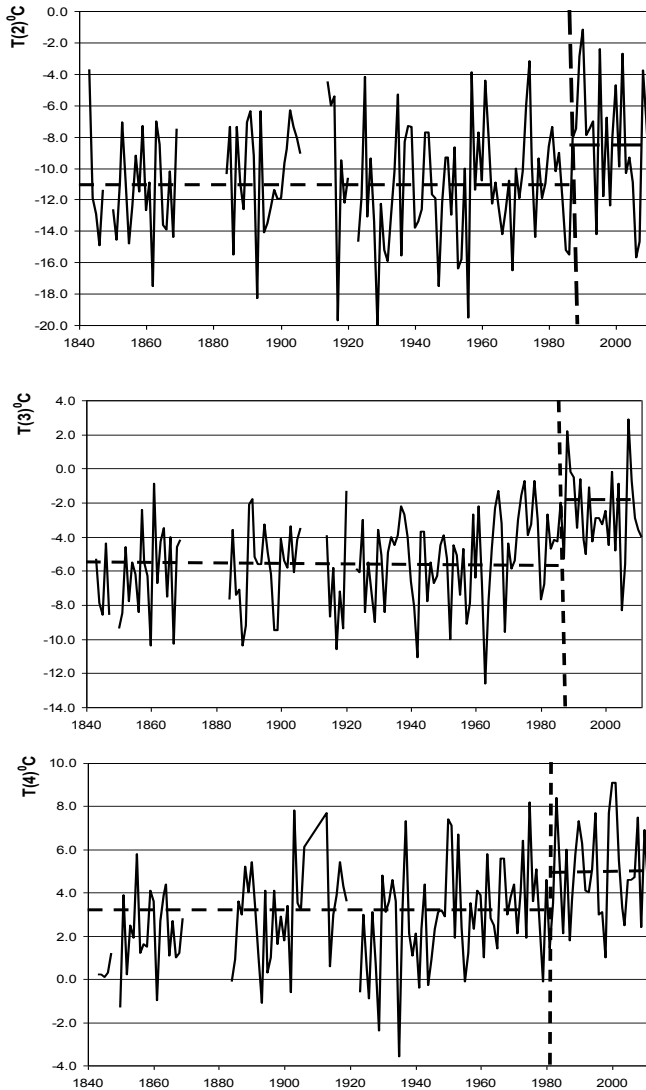


Рис. 2. Хронологический график среднегодовой температуры воздуха по метеостанции Кострома

Для того чтобы раскрыть причину резкого ступенчатого увеличения среднегодовой температуры, были проанализированы графики среднемесячных температур воздуха. Из всех 12 среднемесячных температур воздуха подобный

ступенчатый рост температуры был обнаружен только для трех месяцев: февраль, март и апрель, хронологические графики, для которых приведены на рис. 3. Причем, наибольшее ступенчатое увеличение температуры, составляющее около 4°C , наблюдается в марте, а в другие месяцы оно было около 2°C . В остальные месяцы года ряды температуры воздуха являются однородными и стационарными за некоторым исключением ряда среднемесячной температуры июля (рис. 3), в котором имеет место выдающийся максимум 2010 г., связанный с аномальными погодными условиями, вызванными продолжительным антициклоном и жаркой погодой.



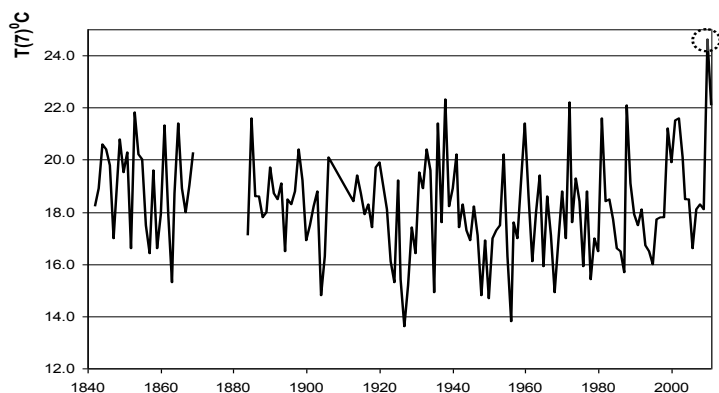


Рис. 3. Хронологические графики среднемесячных температур воздуха, включающие нестационарность и неоднородность

Количественная оценка предварительного анализа стационарности и однородности временных графиков приведена в табл. 1, в которой даны результаты сравнения нестационарных моделей временных рядов по отношению к стационарной для 20 исторических рядов различных характеристик температурного режима на метеостанции Кострома. По формулам (1)–(13) были определены параметры трех видов моделей временных рядов: стационарная выборка, линейный тренд и ступенчатые изменения, а также рассчитаны показатели их эффективности и статистической значимости. Результаты расчетов и оценки эффективности приведены в таблице, в которой: $\Delta_{тр}$, % $\Delta_{ст}$, % – эффективность моделей тренда и ступенчатых изменений по отношению к стационарной модели, %; $F_{тр}$, $F_{ст}$ – статистики критерия Фишера для оценки статистической значимости модели тренда и ступенчатых изменений по отношению к стационарной модели; $T_{ст}$, $T_{нач}$, $T_{кон}$ – годы ступенчатых изменений, начала и окончания наблюдений; n – продолжительность наблюдений, годы; R – коэффициент корреляции модели линейного тренда.

В таблице жирным шрифтом выделены отличия от стационарной модели, превышающие 10 %, статистически значимые отличия по критерию Фишера и статистически значимые коэффициенты линейного тренда. Основной вывод: статистически значимое отличие от стационарной модели можно идентифицировать для модели ступенчатых изменений и для трех температурных характеристик: средней температуры марта, среднегодовой температуры и коэффициента B_0 сезонной функции. Для этих случаев расчетные значения статистики Фишера равны 1,28–1,29, что близко к критическому значению, равному 1,28, при объеме выборки 136–144 лет и при уровне значимости $\alpha = 5\%$. В этих же трех случаях отличие от стационарной модели составляет более 10 %. По статистически значимым коэффициентам корреляции линейного тренда к нестационарным случаям можно отнести еще и среднемесячную температуру апреля и коэффициент B_1 сезонной функции.

**Характеристики моделей временных рядов характеристик температур воздуха
по метеостанции Кострома за исторический период**

Хар-ка	Δтр, %	Δст, %	Fтр	Fст	Tст	Tнач	Tкон	n	R
T(1)	1.1	3.5	1.02	1.07	1989	1843	2011	142	0.15
T(2)	1	3.2	1.02	1.07	1987	1843	2011	144	0.14
T(3)	7.9	11.9	1.18	1.29	1973	1843	2011	144	0.39
T(4)	8.5	8.6	1.2	1.2	1966	1843	2011	144	0.4
T(5)	0.7	1.8	1.01	1.04	1962	1843	2011	144	0.12
T(6)	0	2.8	1	1.06	1857	1843	2011	145	-0.02
T(7)	0.4	3.7	1.01	1.08	1999	1842	2011	148	-0.09
T(8)	0.2	4.8	1	1.1	1856	1842	2010	145	-0.06
T(9)	0	1.5	1	1.03	1854	1842	2010	146	-0.01
T(10)	0	1.5	1	1.03	1994	1842	2010	145	-0.02
T(11)	0.9	2.6	1.02	1.05	2000	1842	2010	145	0.13
T(12)	1.1	2.1	1.02	1.04	1935	1842	2010	144	0.15
Ср. год	5.4	11.6	1.12	1.28	1988	1843	2010	136	0.33
Летн. сез.	0.4	6.7	1.01	1.15	1856	1843	2010	142	-0.09
Зимн. сез.	2	4.4	1.04	1.09	1988	1843	2011	142	0.2
Макс. мес.	0.3	3.3	1.01	1.07	1999	1843	2010	142	-0.08
Мин. мес.	0.9	4	1.02	1.08	1988	1843	2010	137	0.13
B1	4.9	5.1	1.1	1.11	1973	1843	2010	139	-0.31
B0	6.4	11.8	1.14	1.29	1988	1843	2010	139	0.35
Se	0	0.7	1	1.02	1857	1843	2010	139	0.03

Проведенная оценка изменений климата в рядах характеристик термического режима для всех остальных станций на основе сопоставления стационарной модели с нестационарными позволила сделать вывод, что климатические изменения проявляются ступенчато (с увеличением температуры на 1,0–1,5 °С с конца 1980-х годов) для рядов среднегодовой температуры воздуха и среднемесячной температуры весеннего периода и только на метеостанциях северной части территории. Одной из причин ступенчатых изменений температурного режима могут быть особенности стратосферной циркуляции этого периода [5], что требует дальнейших исследований.

Литература

1. Бардин М.Ю. Изменчивость температуры воздуха над западными территориями России странами ближнего зарубежья в XX веке // Метеорол. и гидрол., 2002, № 8, с. 5–23.
2. Груза Г.В., Клещенко Л.К., Ранькова Э.Я. Об изменениях температуры воздуха и осадков на территории СССР за период инструментальных наблюдений // Метеорология и гидрология, 1977, № 1, с. 66–185.
3. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорол. и гидрол., 2004, № 4, с. 50–66.
4. Махнорылова С.В., Угрюмов А.И. Формирование длительных аномалий температурного режима весенне-летнего периода на Европейской территории России под влиянием особенностей стратосферной циркуляции // Уч. зап. РГГМУ, 2012, № 24, с. 38–53.
5. Lobanov V.A., Lobanova H.V. Trends in cold climate characteristics // Urban Drainage in specific Climates in Cold Climate. IHP-V, Technical Documents in Hydrology, N 40, Vol. II UNESCO, Paris, 2000, p. 171–199.
6. Lobanov V.A. Empirical-statistical methodology and methods for modelling and forecasting of climate variability of different temporal scale // Advances in Atmospheric Sciences. 2001, Science Press, Beijing, p. 844–863.

С.П. Смышляев, А.В. Дикинис, М.А. Моцаков

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ
ГАЗОВОГО СОСТАВА АТМОСФЕРЫ
В РАЙОНАХ РАЗВИТОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

S.P. Smyshlyayev, A.V. Dikinis, M.A. Motsakov

**AN ATMOSPHERIC GASEOUS COMPOSITION NUMERICAL
MODELING FOR THE REGIONS WITH NUMERIOUS
TRANSPORT OBJECTS**

Модель химического состава приземного воздуха используется для численного моделирования влияния транспортных выбросов на содержание азотных газов и озона в Северо-Западном регионе РФ. Результаты расчетов показали, что выбросы судового транспорта существенно влияют на содержание газов в приземном слое, причем максимальное влияние не совпадает с районом выбросов.

Ключевые слова: качество воздуха, химическое загрязнение атмосферы, моделирование, выбросы транспорта.

A model of the atmospheric boundary layer chemical composition is used to assess the transport emissions impact on the nitrogen and ozone content in North-West region of Russian Federation. Results of numerical experiments demonstrate that ship emission essentially impact on the boundary layer air quality, and region of maximum influence is different than emission localization.

Key words: air quality, atmospheric chemical pollution, modeling, transport emissions.

Введение

Транспорт является одним из основных источников загрязнения окружающей среды [1]. При этом практически во всех исследованиях основным видом транспорта, вносящим существенный вклад в загрязнение окружающей среды, считается автотранспорт [2]. В крупных городах мира его вклад в общие источники загрязнения природной среды составляет до 80 % [3]. Основными видами воздействия автотранспорта на природную среду являются загрязнение воздуха и почвы. Основными компонентами, загрязняющими атмосферу в отработанных газах автомобилей, являются окись углерода, окислы азота, углеводороды, сажа и аэрозольные соединения свинца [4]. При оценке влияния транспорта на уровень загрязнения природной среды основной упор делается, во-первых, на автодороги, а во-вторых, на контроль загрязнения с помощью локальных пунктов измерения содержания атмосферных газов [5].

Вместе с тем, неавтомобильные виды транспорта также вносят существенный вклад в загрязнение окружающей среды, причем этот вклад может стать преобладающим в пунктах начала и окончания маршрутов объектов транспортной инфраструктуры, таких как аэропорты, морские порты и гавани [6]. Кроме того, помимо традиционно рассматриваемых транспортных источников загряз-

нения атмосферы выхлопными газами автомобильных двигателей, существенный вклад в загрязнение природной среды могут внести другие источники объектов транспортной инфраструктуры такие, как топливные испарения и картерные газы. Наконец, в начальных и конечных пунктах маршрутов транспорта существенный вклад в загрязнение окружающей среды могут вносить и объекты транспортной инфраструктуры, такие как службы заправки и технического обслуживания самолетов, судов, автобусов и автомобилей, а также образование сточных вод от мойки и производственных участков объектов транспортной инфраструктуры. В результате этого, даже такой экологически чистый транспорт, как железнодорожный, использующий, в основном, электровозы, в районах вокзалов может значительно загрязнять окружающую среду из-за роли объектов инфраструктуры вокзалов.

Для контроля за влиянием выбросов объектов транспортной инфраструктуры на качество воздуха необходимо развивать численные модели, позволяющие количественно оценивать изменчивость химического состава атмосферы под воздействием эмиссий объектов транспортной инфраструктуры. Целью настоящей работы является разработка методов учета выбросов транспорта в пунктах начала и конца маршрутов объектов транспортной инфраструктуры в моделях химической погоды.

Влияние транспорта на загрязнение атмосферы

Транспорт играл, играет и будет играть фундаментальную роль в перевозке грузов в глобальном масштабе, покрывая около 80–90 % перевозок [7]. Такое широкое использование паромных перевозок, прежде всего, объясняется необходимостью дальней транспортировки больших объемов сырых материалов, таких как уголь, нефть и продуктов их переработки, а также промышленных продуктов. Использование топлива для транспортных расходов постоянно растет в течение последних десятилетий (рис. 1).

С начала 80х годов XX века до конца нулевых годов потребление топлива транспортом выросло практически в два раза, как видно из рис. 1. Соответственно, примерно настолько же увеличилось и воздействие выбросов объектов транспортной инфраструктуры на атмосферу, хотя за счет улучшения качества топлива выбросы некоторых элементов росли не так быстро, как потребление топлива [9]. Среди продуктов сгорания топлива в двигателях объектов транспортной инфраструктуры по своему воздействию на химический состав атмосферы можно выделить: углекислый газ (CO_2), окислы азота (NO_x), двуокись серы (SO_2), летучие органические компоненты (ЛОК), аэрозольные частицы и сажу (черный углерод) [10].

При преобладающем потреблении топлива автомобильным транспортом по сравнению с авиационным и судовым транспортом, выбросы окислов азота и аэрозольных частиц судовым и автомобильным транспортом примерно одинаковы, а выбросы серных газов для судового транспорта превосходят выбросы

автомобильного транспорта в три раза. Только выбросы углекислого газа примерно соответствуют количеству потребляемого топлива. Такая разница во вкладе разных видов транспорта в загрязнение атмосферы связана с разной степенью контроля качества используемого топлива и использованием систем очистки выхлопных газов в автомобильном, авиационном и судовом транспорте.

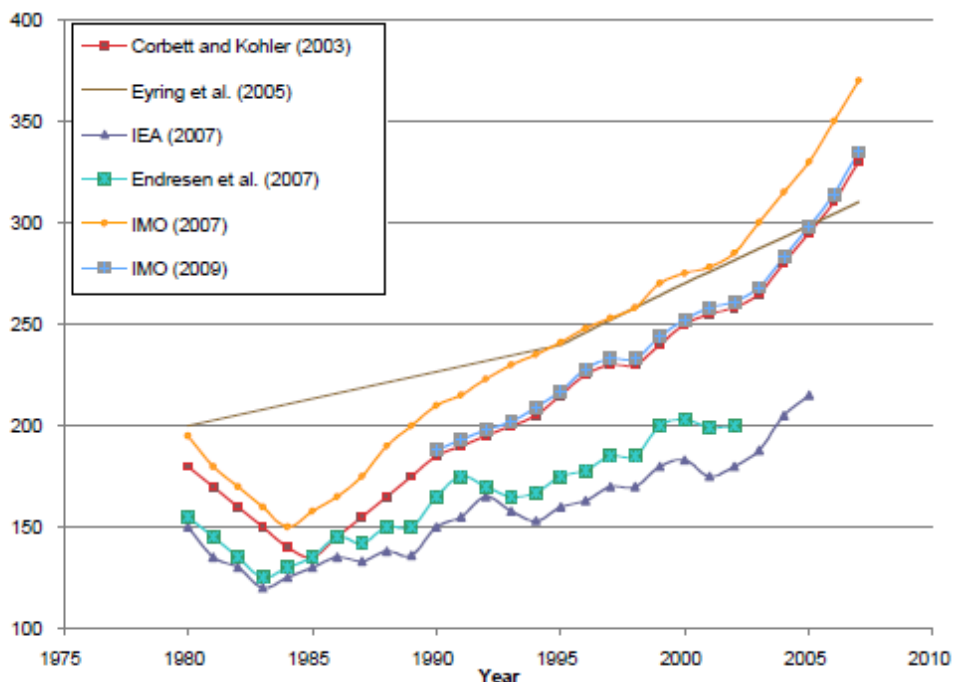


Рис. 1. Использование топлива объектами транспортной инфраструктуры в глобальном масштабе (в мегатоннах в год) [8]

Сравнение вклада различных видов транспорта в общий поток загрязняющих веществ в атмосферу, как показано на рис. 2, различается для разных загрязнителей. Если автомобильное и авиационное топливо подвергаются высокой степени очистки и контроля за содержанием в нем веществ, сжигание которых может привести к загрязнению окружающей среды, то для судового транспорта до последнего времени контроль был очень слабым [13]. Даже принятые в последнее время меры по контролю за составом судового топлива направлены, прежде всего, на сокращение содержания серных газов, которые, в значительной степени вносят вклад в общее загрязнение атмосферы в населенных районах. Между тем, выбросы окислов азота судовым транспортом по-прежнему слабо контролируются, поэтому с учетом ожидаемого роста транспортных перевозок будет возрастать и роль транспортных выбросов окислов азота в загрязнении воздуха [14].

В настоящей работе выбросы наземного и судового транспорта добавлялись в качестве нижнего граничного условия в модель химического состава

приземного слоя Северо-Западного региона РФ [15, 16]. Вклад судовых выбросов окислов азота в общие потоки азотных составляющих, включенных в численные модельные расчеты, в процентах показан на рис. 3.

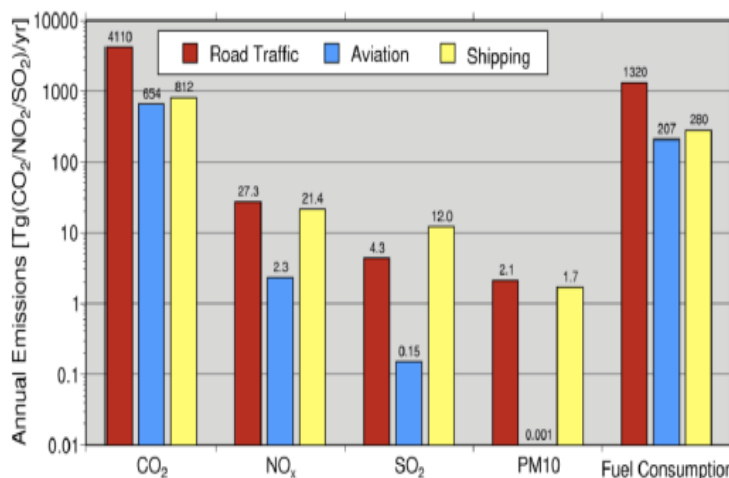


Рис. 2. Распределение глобальных выбросов загрязняющих веществ разными видами транспорта (красный – автомобильный, синий – авиационный, желтый – пароходный) [11]

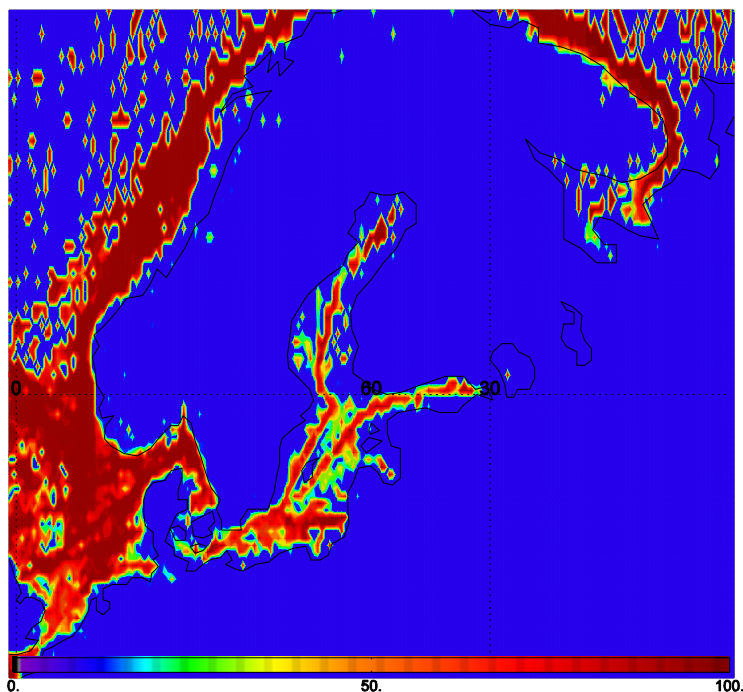


Рис. 3. Вклад судовых выбросов окислов азота в общие потоки азотных составляющих в Северо-Западном регионе (по данным базы EDGAR [17])

Особенность окислов азота заключается в быстром переходе их из одной компоненты в другую при сохранении общего содержания нечетного азота [18]. В результате этого содержание окислов азота может измениться на более широкой территории, чем охвачены только выбросами окислов азота. Расчетное изменение содержания окислов азота в Северо-Западном регионе РФ после добавления выбросов судового транспорта показано на рис. 4. Из-за долгого времени жизни окислов азота локализации наибольших изменений их концентрации в результате увеличения выбросов за счет судового транспорта определяется не местоположением выбросов, метеорологическими и химическими процессами.

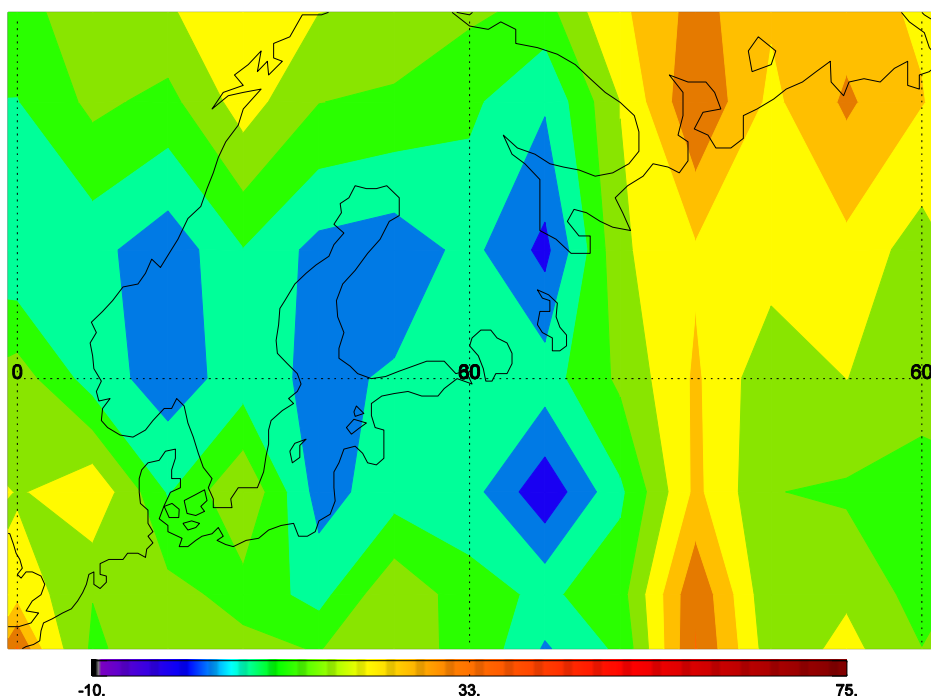


Рис. 4. Процентное изменение содержания окислов азота в приземном слое атмосферы после добавления в модель судового транспорта

Соответствующие изменения концентраций приземного озона показаны на рис. 5. Содержание приземного озона определяется соотношением между азотными и углеводородными химическими компонентами [19]. В результате этого изменение концентраций озона после изменения выбросов судового транспорта в основном увеличивается не в районах выбросов и увеличения содержания окислов азота, а там где озон в большей степени чувствителен к изменению концентраций окислов азота. Такими районами являются области с малыми концентрациями азотных составляющих, т.е. в «чистых» районах северной части Северо-Западного региона.

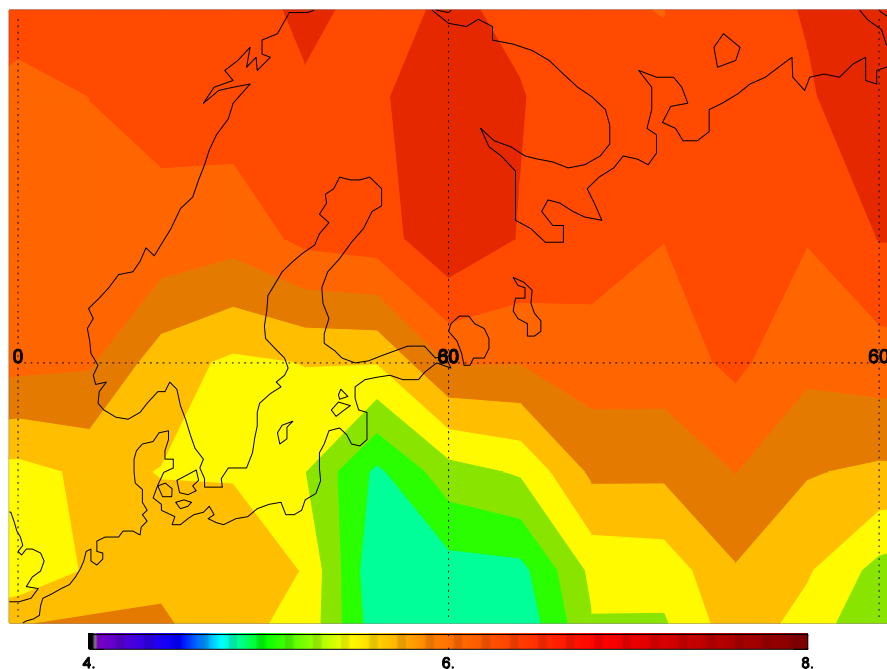


Рис. 5. Процентное изменение концентрации озона в приземном слое атмосферы после добавления в модель судового транспорта

Заключение

Выполнено численное моделирование влияния выбросов объектов транспортной инфраструктуры и, прежде всего, судового транспорта на изменение качества воздуха в Северо-Западном регионе РФ. Для оценки степени влияния судовых выбросов на содержание окислов азота и приземный озон выполнено два численных эксперимента: без учета влияния судовых выбросов и с учетом вклада судового транспорта.

Результаты расчетов показали, что вклад судового транспорта в содержание окислов азота является существенным и, при этом, не ограничивается местами выбросов. Более того, основные изменения содержания окислов азота отмечаются в отдаленных от морских акваторий районах, что связано с большим временем жизни окислов азота в атмосфере. Наибольшее изменение содержания озона при этом происходит в чистых районах северной части Северо-Западного региона, где чувствительность озона к изменениям окислов азота является максимальной.

Литература

1. Ежегодный обзор «Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2006 г.» / Под ред. Э.Ю. Безуглая. Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова. – СПб.: ГГО Росгидромета, 2008.

2. Gery, M.W. A Photochemical Kinetics Mechanism for Urban and Regional Scale Computer Modeling / M.W. Gery, G.Z. Whitten, J.P. Killus, M.C. Dodge // *J. Geophys. Res.*, 1989, 94, с. 925-956.
3. Экогеохимия городских ландшафтов / Под ред. Н.С. Касимова. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 336 с.
4. Курбатова А.С. Экология города. – М.: Научный мир, 2004. – 624 с.
5. Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферу городов и регионов Российской Федерации (России) 2004 г. / Под ред. В. Б. Миляева и А.Н. Ясенского. – СПб.: ФГУП «Научно-исслед. ин-т охраны атмосф. воздуха», 2005. – 274 с.
6. European Commission and ENTEC UK Limited, 2006. Service Contract on Ship Emissions: Assignment, Abatement and Market based Instruments Task 2b and C-NOX and SO₂ Abatement.
7. Fuglestvedt, J. S., Shine, K. P., Berntsen, T., Cook, J., Lee, D. S., Stenke, A., Skeie, R. B., Velders, G.J. M. and Waitz, I. A. Transport impacts on atmosphere and climate: metrics // *Atmospheric Environment*, 2010, vol. 44 (37), p. 4648-4677.
8. Agrawal, H., Malloy, Q.G.J., Welch, W.A., Miller, J.W., Cocker, D.R. In-use gaseous and particulate matter emissions from a modern ocean going container vessel // *Atmospheric Environment*, 2008, vol. 42, № 5, p. 504-510.
9. Eyring, V., Isaksen, I. S. A., Berntsen, T., Collins, W. J., Corbett, J. J., Endresen, Ø., Grainger, R.G., Moldanova, J., Schlager, H., and Stevenson, D. S. Transport Impacts on Atmosphere and Climate: Shipping // *Atmos. Environ.*, 2009, vol. 44, p. 4735-4771. doi:10.1016/j.atmosenv.2009.04.059.
10. Eyring, V., Stevenson, D.S., Lauer, A., Dentener, F.J., Butler, T., Collins, W.J., Ellingsen, K., Gauss, M., Hauglustaine, D.A., Isaksen, I.S.A., Lawrence, M.G., Richter, A., Rodriguez, J.M., Sanderson, M., Strahan, S.E., Sudo, K., Szopa, S., van Noije, T.P.C., Wild, O. Multi-model simulations of the impact of international shipping on atmospheric chemistry and climate in 2000 and 2030 // *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2007, vol. 7, p. 757-780.
11. Balzany Lööf, J.M., Alfoldy, B., Lagler, F. et al. Why and how to measure remotely ship emissions // *Climate Change and Air Quality Unit Seminars.*, 2011, Ispra 2011, Ispra, Italy.
12. Corbett, J. Koehler, H.W. Update d Emissions from Ocean Shipping // *Journal of Geophysical Research*, 2003, vol. 108, № D20.
13. Eyring, V., Köhler, H., Van Aardenne, J., & Lauer, A. Emissions from international shipping: 1. The last 50 years // *J. of Geophys. Res.-Atmosph.*, 2005, vol. 110, № D17305.
14. Endresen, Ø., Sørsgård, E., Behrens, H.L., Brett, P.O., Isaksen, I.S.A. A historical reconstruction of ships'fuel consumption and emissions // *J. of Geoph. Res.-Atmosph.*, 2007, vol. 112, № D12301.
15. Смышляев С.П., Ермакова Т.С., Мостаманди С.В., Курганский А.Р. Моделирование трансформации химически активных примесей атмосферы в региональном масштабе // *Уч. зап. РГГМУ*, 2013, № 29, с. 75-84.
16. Филиппенко А.П., Смышляев С.П., Блакитная П.А. Химические механизмы трансформации токсичных газов в атмосфере // *Уч. зап. РГГМУ*, 2010, № 15, с. 41-53.
17. Janssens-Maenhout G, Dentener F, Van Aardenne J, Monni S, Pagliari V, Orlandini L, Klimont Z, Kurokawa J, Akimoto H, Ohara, T, Wankmueller R, Battye B, Grano D; Zuber A, Keating T. EDGAR-HTAP: a Harmonized Gridded Air Pollution Emission Dataset Based on National Inventories. Ispra (Italy): European Commission Publications Office; 2012. JRC68434, EUR report No EUR 25 299 - 2012, ISBN 978-92-79-23122-0, ISSN 1831-9424.
18. Смышляев С.П., Кароль И.Л., Зубов В.А., Юдин В.А., Геллер М.А. Двумерное моделирование сезонно-широтной изменчивости общего содержания атмосферного озона с использованием параметров крупномасштабного переноса из модели общей циркуляции атмосферы // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*, 2002, т. 38, № 1, с. 81-94.
19. Dvortsov V.L., Zvenigorodsky S.G., Smyshlyaev S.P. On the use of Isaksen-Luther method of computing photodissociation rates in photochemical models // *J. Geophys. Res.*, 1992, vol. 97, no. D7, p. 7593-7601.

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках выполнения госконтракта № 14.515.11.0103, а также в рамках гранта Правительства РФ (Договор №11.G34.31.0078) для поддержки исследований под руководством ведущих ученых.

С.П. Смышляев, А.В. Дикинис

**МЕТОДОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА
В ЗОНАХ ИНТЕНСИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ**

S.P. Smyshlyayev, A.V. Dikinis

**A METHODOLOGY FOR REMOTE OBSERVATION USAGE
FOR AIR QUALITY ANALYSIS IN THE POLLUTED REGIONS**

В работе предложена методика численного контроля качества воздуха в зонах интенсивного загрязнения атмосферы путем ассимиляции результатов дистанционных измерений. Методика позволяет рассчитывать величины потоков загрязняющих веществ на основе решения обратной задачи с помощью численной модели химического состава приземного слоя атмосферы.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, дистанционные методы, численное моделирование, обратная задача.

The method to numerically control air quality in the polluted regions using remote sensing data assimilation is proposed. The method allows surface fluxes calculation based on inverse modeling of the boundary layer atmospheric chemical composition.

Key words: atmospheric pollution, remote sensing, numerical modeling, inverse problem.

Введение

Дистанционные методы широко применяются при изучении состава и структуры атмосферы [1]. Преимуществом дистанционных измерений является возможность непрерывного определения средних концентраций загрязняющих веществ по площади, тогда как контактные методы позволяют получать характеристики загрязнений в точке. Однако загрязнение атмосферы от передвижных источников, таких как объекты транспортной инфраструктуры, может происходить в разных точках, что осложняет контроль загрязнений контактными методами.

Контроль уровня загрязнения окружающей среды с помощью систем измерения качества воздуха в зонах интенсивного загрязнения является полезным, т.к. позволяет выделять периоды максимального загрязнения окружающей среды и предлагать меры оперативного реагирования по минимизации опасных воздействий на окружающую среду [2]. Вместе с тем, дополнение местных измерений дистанционными спутниковыми наблюдениями позволит расширить возможности и усилить комплексность методов контроля за состоянием природной среды в зонах воздействия на нее разными видами транспорта. Кроме того, использование систем дистанционных измерений наряду с численными моделями химического состава атмосферы позволит решать не только прямые задачи установления уровня загрязнения природной среды, но также и обратные задачи восстановления местонахождения источников загрязнений по результатам площадных измерений содержания атмосферных газов. При решении

обратной задачи в результате ассимиляции результатов спутниковых измерений численной моделью химического состава атмосферы с привлечением метеорологической информации о температуре воздуха и скоростях и направлении ветра можно определить, является ли наблюдаемый уровень загрязнения результатом местных выбросов, или достигнут в результате атмосферного трансграничного переноса загрязнителей из соседних регионов. В дополнение к этому, использование атмосферной численной химической модели позволяет оценить вклад вторичных, т.е. образующихся в результате химической трансформации первичных продуктов выбросов объектов транспортной инфраструктуры, загрязнителей в отмечаемый дистанционными методами уровень загрязнения.

В настоящей работе предлагаются новые подходы к разработке методов контроля состояния природной среды в зонах интенсивного загрязнения атмосферы с привлечением дистанционных спутниковых измерений содержания атмосферных газов и аэрозоля, их ассимиляции численной моделью химического состава воздуха, решением обратной задачи определения местонахождения источников загрязнения и определения роли вторичных загрязнителей.

Методология объединения дистанционных измерений и численного моделирования

В основе методологии модельного обнаружения загрязнения атмосферы лежит предположение о наличии в качестве исходных данных результатов дистанционных измерений содержания исследуемых газов в форме общего содержания в столбе атмосферы. Тогда можно формулировать задачу разработки методов получения информации о том, какие значения поверхностных эмиссий загрязнителей соответствуют имеющимся результатам измерений, и какая часть этих эмиссий может быть отнесена к имеющим антропогенную природу.

Подобную задачу можно пытаться решать статистическими методами, создавая эмпирические модели зависимости содержания загрязнителей атмосферы от естественных и антропогенных потоков как предикторов и строя регрессионные полиномиальные разложения зависимости содержания атмосферных газов от значений предикторов и далее подбирая значения предикторов, которые соответствуют измеренным значениям [3]. Другой подход заключается в использовании численных моделей, позволяющих на основе математического описания физических и химических процессов, определяющих образование, эволюцию и разрушение загрязнителей в атмосфере, получить информацию о соотношении естественных и антропогенных эмиссий, которые могут привести к наблюдаемым значениям содержания газов [4]. В настоящей работе используется второй подход, т.е. использование численных моделей атмосферы, воспроизводящих реальные условия формирования измеренных концентраций газовых загрязнителей.

Дистанционно измеренные концентрации загрязняющих газов являются результатом взаимодействия пространственно меняющихся источников и стоков и

атмосферного переноса [5]. Следовательно, если стоит задача определения качества воздуха по результатам дистанционных измерений, то необходима модель переноса исследуемых газов. Таким образом, можно определить «обратную задачу» моделирования как проблему определения источников выбросов в зонах интенсивного загрязнения атмосферы на основе результатов дистанционных измерений их содержания [3]. Подобная задача является обратной по отношению к «прямой задаче», когда атмосферная модель используется для диагностики наблюдаемых особенностей, и при этом задаются заранее оцененные источники загрязнителей.

Обратная задача определения источников атмосферных газовых загрязнителей включает: а) организацию сети дистанционных наблюдений представляющих интерес атмосферных составляющих; б) разработку и адаптацию атмосферной модели, описывающей перенос и трансформацию представляющих интерес атмосферных составляющих; в) разработку математических и статистических процедур, позволяющих соотносить результаты измерений и моделирования [6]. При решении обратной задачи важным является определение типов источников и стоков исследуемых загрязнителей. В частности, если решать обратную задачу для инертных загрязнителей с незначительными атмосферными источниками и стоками, то главной проблемой для подобной задачи становится определение знака и величины обмена загрязнителем между атмосферой и подстилающей поверхностью.

С другой стороны, для решения обратной задачи для углеводородных загрязнителей, которые не имеют атмосферных источников, но имеют интенсивные атмосферные стоки, важной проблемой является учет не только их потоков с земной поверхности, но и корректный учет их разрушения химическими процессами в атмосфере. Для многих других газовых загрязнителей, имеющих как источники, так и стоки в атмосфере, таких как, например, угарный газ (CO), при решении обратной задачи восстановления их поверхностных потоков важно учитывать всю совокупность атмосферных химических процессов, приводящих к их формированию и разрушению.

Математическое описание уравнения баланса атмосферной газовой примеси в атмосфере, имеющей источники и стоки можно записать в форме [7]:

$$\frac{\partial N(r,t)}{\partial t} = S(r,t) + T[N(r,t),t], \quad (1)$$

где $N(r,t)$ – концентрация исследуемой атмосферной примеси; $S(r,t)$ – локальный источник, включающий как продукцию, так и разрушение рассматриваемой примеси; $T[N(r,t),t]$ – оператор атмосферного переноса рассматриваемой примеси, включающий, как правило, адвективный и турбулентный перенос газовой или аэрозольной примеси.

Существует два типа обратных задач для определения источников атмосферных газов: дифференциальная и интегральная [4]. При формулировании

дифференциальной задачи уравнение (1) реорганизуется для выделения слагаемого, описывающего локальный источник [3]:

$$\hat{S}(r, t) = \frac{\partial \hat{N}(r, t)}{\partial t} - T[\hat{N}(r, t), t]. \quad (2)$$

При этом в качестве параметров уравнения используются статистические характеристики, что обозначается «шляпками» в уравнении. В связи с тем, что наиболее частой является задача определения поверхностных источников атмосферных газов, то уравнение (2) решается для нижнего вертикального уровня модельной сетки, тогда как уравнение (1) численно интегрируется для всей модельной сетки [8]. Этот дифференциальный подход основывается на законе сохранения массы, поэтому он часто также называется балансовым методом решения обратной задачи. Решение уравнения (2) носит статистический характер, т.к. результаты наблюдений величин концентраций $c(r, t)$ статистически сглаживаются для замены расчетных значений $N(r, t)$.

Уравнение баланса газовой примеси в сферической системе координат в непрерывном виде выглядит как [7]:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{R_E \cos \varphi} \frac{\partial (uN)}{\partial \lambda} + \frac{1}{R_E \cos \varphi} \frac{\partial (vN \cos \varphi)}{\partial \varphi} + \frac{\partial (wN)}{\partial z} = P_N - D_N N + \frac{1}{R_E^2 \cos^2 \varphi} \frac{\partial}{\partial \lambda} \times \\ \times \left[k_{xx} M \frac{\partial}{\partial \lambda} \left(\frac{N}{M} \right) \right] + \frac{1}{R_E^2 \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left[k_{yy} M \cos \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{N}{M} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k_{zz} M \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{N}{M} \right) \right].$$

Здесь u – зональная скорость ветра; v – меридиональная скорость ветра; w – вертикальная скорость ветра; R_E – радиус Земли; λ – долгота центра модельной ячейки; φ – широта центра модельной ячейки; P_N – скорость фотохимической продукции газа N ; $D_N N$ – скорость фотохимического разрушения N ; k_{xx} – коэффициент турбулентности в долготном направлении; k_{yy} – коэффициент турбулентности в широтном направлении; k_{zz} – коэффициент турбулентности в высотном направлении; M – концентрация воздуха.

Это уравнение используется для решения прямой задачи вычисления концентраций газовых загрязнителей во всех узлах модельной сетки. Его можно переписать в потоковой форме:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = P_N - D_N N - \frac{1}{R_E \cos \varphi} \frac{\partial (F_x)}{\partial \lambda} - \frac{1}{R_E \cos \varphi} \frac{\partial (F_y \cos \varphi)}{\partial \varphi} - \frac{\partial (F_z)}{\partial z},$$

где
$$F_x = uN - k_{xx} M \frac{1}{R_E \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \lambda} \left(\frac{N}{M} \right); \quad F_y = vN - k_{yy} M \frac{1}{R_E} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{N}{M} \right);$$

$$F_z = wN - k_{zz} M \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{N}{M} \right).$$

Потоки на границе бокса вокруг узла модельной сетки (рис. 1).

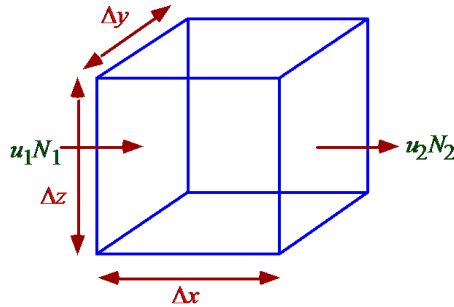


Рис. 1. Модельная ячейка с узлом модели в центре

На нижнем высотном уровне нижняя граница бокса находится на земной поверхности, поэтому поток здесь будет определяться разницей между наземным источником и стоком. Если рассмотреть баланс массы в отдельной ячейке, прилегающей к земной поверхности, то он будет определяться общим количеством газа в ячейке $N(t)\Delta x\Delta y\Delta z$ на начальный момент времени t , изменением содержания газа внутри ячейки за счет химических превращений $(P_N - D_N N)\Delta x\Delta y\Delta z\Delta t$ в течение шага времени Δt , разницей притока и оттока массы газа в широтном и меридиональном направлениях $(F_{x,1} - F_{x,2})\Delta y\Delta z\Delta t$ и $(F_{y,1} - F_{y,2})\Delta x\Delta z\Delta t$, потоком газа в верхнюю ячейку $-F_{z,2}\Delta x\Delta y$, а также балансом между потоком газа с земной поверхности и его разрушения на ней $[S_N - w_{d,N}N(t)]\Delta x\Delta y\Delta t$. В результате учета влияния этих процессов на нижнюю ячейку модельной сетки может быть решена прямая задача нахождения содержания газа в данной ячейке через временной интервал Δt :

$$N(t + \Delta t)\Delta x\Delta y\Delta z = N(t)\Delta x\Delta y\Delta z + [(F_{x,1} - F_{x,2})\Delta y\Delta z + (F_{y,1} - F_{y,2})\Delta x\Delta z + (S - w_{d,N}N(t) - F_{z,2})\Delta x\Delta y + (P_N - D_N N(t))\Delta x\Delta y\Delta z]\Delta t.$$

Если же известны концентрации исследуемого газа в моменты времени t и $t + \Delta t$, т.е. его эволюция, то из уравнения (3.3) можно решать обратную задачу определения потоков исследуемой примеси с поверхности в атмосферу. При этом, если нет дополнительной информации о скорости разрушения газа на поверхности, то будет вычисляться разница между потоком с поверхности и разрушением на ней:

$$S - w_{d,N}N(t) = \left[\frac{N(t + \Delta t) - N(t)}{\Delta t} - \frac{(F_{x,1} - F_{x,2})}{\Delta x} - \frac{(F_{y,1} - F_{y,2})}{\Delta y} - (P_N - D_N N(t)) \right] \Delta z + F_{z,2}$$

Если же известны скорости разрушения исследуемого газа на земной поверхности, то можно вычислить чистый поток с поверхности

$$S = \left[\frac{N(t + \Delta t) - N(t)}{\Delta t} - \frac{(F_{x,1} - F_{x,2})}{\Delta x} - \frac{(F_{y,1} - F_{y,2})}{\Delta y} - (P_N - D_N N(t)) \right] \Delta z + F_{z,2} + w_{d,N}N(t).$$

Конечно-разностное представление потоков в горизонтальном и вертикальном направлении предполагает задание концентраций исследуемого газа в соседних ячейках, что может достигаться или использованием результатов вычислений, или за счет решения прямой задачи.

Определение поверхностных концентраций исследуемых газов

$$N_{s,a}^j = N_{s,m}^j + \sum_{i=1}^N w_i (N_{s,o}^i - N_{s,m}^i),$$

где веса измерений определяются пропорционально погрешностям измерений и моделирования и расстоянию станции от узла модельной сетки

$$w_i^j = \frac{\rho_{ij} / E_{O,i}^2}{E_M^2 + \sum_{k=1}^N \rho_{kj} / E_{O,k}^2}.$$

Заключение

Разработана методология использования дистанционных измерений для анализа качества воздуха в зонах интенсивного загрязнения атмосферы путем решения обратной задачи по определению потоков загрязняющих веществ с поверхности по результатам измерений их общего содержания в атмосфере.

Литература

1. Koffi, B., Szopa, S., Cozic, A., Hauglustaine, D., and van Velthoven, P.: Present and future impact of aircraft, road traffic and shipping emissions on global tropospheric ozone, *Atmos. Chem. Phys.*, 2010, vol. 10, p. 11681-11705.
2. Balzany Lööv, J.M., Alföldy, B., Lagler, F. et al. Why and how to measure remotely ship emissions // *Climate Change and Air Quality Unit Seminars.*, 2011, Ispra, Italy.
3. Enting I.G. Inverse Problems in Atmospheric Constituents transport // Cambridge University Press, Cambridge, 2002. – 21 pp.
4. Brown M. Deduction of emissions of source gases using an objective inversion algorithm and a chemical transport model // *J. Geophys. Res.*, 98D, 1993, 12 639-12660.
5. Смышляев С.П., Ермакова Т.С., Мостаманди С.В., Курганский А.П. Моделирование трансформации химически активных примесей атмосферы в региональном масштабе // *Уч. зап. РГМУ*, 2013, № 29, с. 75-84.
6. Smyshlyaev S.P., Geller M.A. Analysis of SAGE II observations using data assimilation by SUNY-SPB two-dimensional model and comparison to TOMS data // *J. Geophys. Res.*, 2001, vol. 106, p. 32327-32335.
7. Смышляев С.П., Кароль И.Л., Зубов В.А., Юдин В.А., Геллер М.А. Двумерное моделирование сезонно-широтной изменчивости общего содержания атмосферного озона с использованием параметров крупномасштабного переноса из модели общей циркуляции атмосферы // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*, 2002, т. 38, № 1, с. 81-94.
8. Dvortsov V.L., Zvenigorodsky S.G., Smyshlyaev S.P. On the use of Isaksen-Luther method of computing photodissociation rates in photochemical models // *J. Geophys. Res.*, 1992, vol. 97, no. D7, p. 7593-7601.

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках выполнения госконтракта № 14.515.11.0103, а также в рамках гранта Правительства РФ (Договор № 11.G34.31.0078) для поддержки исследований под руководством ведущих ученых.

М.А. Гусакова, Л.Н. Карлин

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ КЛИМАТООБРАЗУЮЩИХ
ФАКТОРОВ НА РАДИАЦИОННЫЕ ПОТОКИ В АТМОСФЕРЕ
И МЕЖГОДОВУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГЛОБАЛЬНОЙ
ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА**

M.A. Gusakova, L.N. Karlin

**THE ASSESSING THE CONTRIBUTION OF FACTORS AFFECTING
CLIMATE CHANGE IN ATMOSPHERIC RADIATION FLUXES
AND INTERANNUAL CHANGES IN THE GLOBAL SURFACE
AIR TEMPERATURE**

Рассматривается климат Земли и причины его изменчивости. Анализируется влияние климатообразующих факторов в межгодовую изменчивость глобальной приповерхностной температуры воздуха и радиационных потоков в атмосфере. На основе разработанной климатической модели предложены сценарии будущих изменений глобальной приповерхностной температуры воздуха.

Ключевые слова: климат, климатическая изменчивость, глобальная приповерхностная температура воздуха.

The climate of the Earth and the reasons of climate variability are considered. The influence of factors affecting climate change in interannual variability of global surface air temperature and atmospheric radiation fluxes is analyzed. The scenarios of future global surface air temperature variability are proposed.

Key words: climate, climate variability, global surface air temperature.

Введение

В современном мире исследованию изменений климата уделяется большое внимание. Чтобы понять причины изменения климата и создать средства для его прогнозирования, необходимо создание совершенных моделей, способных учитывать различные влияющие факторы и реакцию на внешние воздействия. На сегодняшний день в мире существует огромное многообразие климатических моделей, которые можно разделить на четыре класса: простые климатические модели, модели промежуточной сложности, модели общей циркуляции атмосферы, сложные трехмерные модели совместной циркуляции атмосферы и океана [5, 7]. Реализация этих моделей часто дает противоречивые результаты. При этом в сложных моделях трудно проследить причинно-следственные связи, обуславливающие изменения климата, что делает практически невозможным раскрыть причину расхождений в результатах. В отличие от сложных моделей, простые модели, описывающие климатическую систему с помощью небольшого количества параметров, можно использовать для качественного выяснения возможной роли тех или иных климатических факторов, поиска положительных и отрицательных обратных связей, для оценки влияния на климат изменчивости концентрации парниковых газов в атмосфере. Одним из таких параметров может служить глобальная приповерхностная температура воздуха Земли (ПТВ).

Климатические модели

На сегодняшний день при прогнозировании будущих климатических изменений чаще всего используются сложные трехмерные модели совместной циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО), занимающие высшую ступень в иерархии климатических моделей [16]. Модели общей циркуляции атмосферы и океана охватывают динамические компоненты, описывающие атмосферные, океанические и наземные процессы, морской лед и др. Однако, многие процессы в атмосфере и океане до сих пор являются малоизученными, поэтому для их описания в моделях используются параметризации. К таким процессам относятся формирование облачности, осадков, перемешивание океана вследствие волновых процессов, формирование водных масс [7, 16]. Не смотря на то что с каждым годом модели данного класса совершенствуются, они по-прежнему показывают расхождения в результатах. По последним данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата IPCC [11] существует некоторая неопределенность не только в будущих оценках изменчивости глобальной температуры, но и в воспроизведении современных значений глобальной приповерхностной температуры воздуха (рис. 1).

Global mean temperature near-term projections relative to 1986–2005

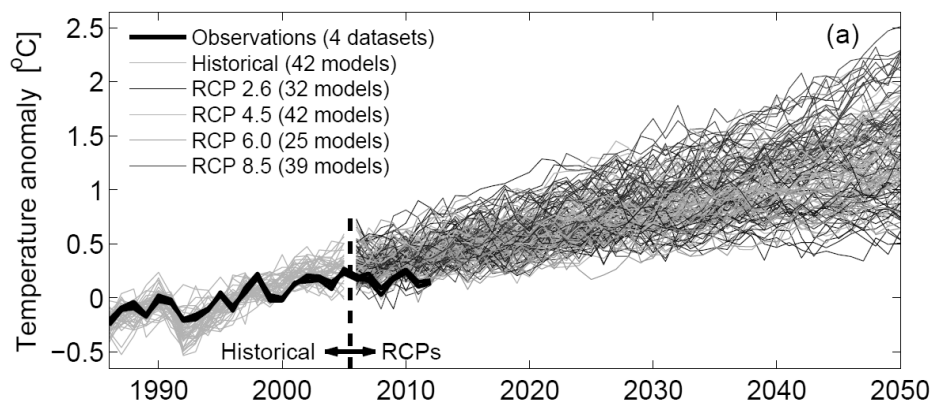


Рис. 1. Тенденции изменений глобальной приповерхностной температуры воздуха согласно сценариям IPCC [11]

Для воспроизведения глобальной приповерхностной температуры воздуха с 1986 по 2005 г. IPCC использовалось 42 различных модели. Однако, как видно из рис. 1, хоть модели и воспроизводят тенденцию наблюдаемых изменений, рассчитанные значения глобальной ПТВ имеют существенные отличия от фактической температуры. Так, в 1992–1994 гг. почти все модели показали занижение глобальной ПТВ, достигая максимального отклонения от фактической температуры в $0,3^{\circ}$. В период с 1999 по 2005 г. почти все модели показали завышение глобальной ПТВ, достигая максимального отклонения от фактической температуры в $0,4^{\circ}$.

Одной из главных причин различий в будущих оценках изменений климата, рассчитанных по моделям МОЦАО можно считать неопределенность параметризации [11, 16].

Так как простые климатические модели можно использовать для оценки влияния отдельных климатообразующих факторов на изменчивость глобальной температуры, то целью данной работы является создание однопараметрической модели, учитывающей влияние основных климатообразующих факторов, для оценки будущих изменений глобальной приповерхностной температуры воздуха до 2030 г.

Простая однопараметрическая модель эволюции глобальной приповерхностной температуры воздуха с параметризациями глобального альbedo и уходящего длинноволнового излучения

Однопараметрические модели, направленные на изучение вклада климатообразующих факторов, основываются на энергетическом балансе Земли. Если представить, что радиационное равновесие достигнуто, то

$$\frac{F_s(1-A)}{4} = \sigma T_E^4, \quad (1)$$

где F_s – приток солнечной радиации на верхнюю границу атмосферы, Вт/м²; A – глобальное альbedo; σ – постоянная Стефана-Больцмана, $5,67 \cdot 10^{-8}$ Дж·с⁻¹·м⁻²·К⁻⁴; T_E – эффективная температура Земли, К.

Лучистая энергия Солнца является практически единственным источником энергии, за счет которой совершаются атмосферные движения и происходят другие разнообразные процессы в атмосфере. Часть приходящей солнечной радиации, поступающей на верхнюю границу атмосферы, отражается от частиц аэрозолей, облаков, земной и водной поверхности [4]. Для расчета оценки влияния вышеперечисленных факторов на изменчивость отраженной коротковолновой радиации можно использовать различные параметризации.

Так, например, найденные связи между значениями отраженной в космическое пространство коротковолновой радиации [12] и значениями глобальной облачности [12], аэрозольной оптической толщиной [12] и альbedo поверхности Земли [12] позволили сделать вывод о наличии зависимостей между этими параметрами, близких к линейным. На основании полученных зависимостей была создана параметризация для расчета оценки вкладов каждой из этих характеристик в межгодовую изменчивость отраженной коротковолновой радиации [15]. За период с 2001 по 2010 г. вклад облачности менялся от 15 до 89 % от общего количества отраженной коротковолновой радиации, вклад альbedo поверхности Земли – от 1 до 71 %, а на вклад аэрозолей пришлось от 1 до 52 %. В среднем за период 2001–2010 г. на облачность пришлось около 73 %, в то время как вклад аэрозолей составил 14 %. Отражение от поверхности Земли в целом составляло около 13 % от общего количества отраженной радиации.

Изменчивость глобальной ПТВ зависит от количества отраженной коротковолновой радиации в космическое пространство, с которым прямо связано значение глобального альбедо. Известно, что уменьшение глобального альбедо приводит к увеличению глобальной ПТВ. Анализ исходных спутниковых данных [12, 14] показал наличие зависимости между значениями глобального альбедо и приземной температуры, близкую к линейной. Тогда, альбедо можно представить как функцию от изменения ПТВ:

$$f\left(\frac{T}{T_0}\right), \quad (2)$$

где T_0 – температура в некоторый начальный момент времени, °C. После разложения функции (2) в ряд Маклорена и отсечения всех членов выше первого порядка получим простое линейное уравнение:

$$A = A_0 + C_1 * \left(1 - \frac{T}{T_0}\right), \quad (3)$$

где A_0 – альбедо в начальный момент времени; C_1 – эмпирический коэффициент.

С помощью данных по глобальной ПТВ [14] и спутниковых данных по потокам коротковолновой радиации в атмосфере [12] на основании которых были рассчитаны ежегодные значения глобального альбедо, был найден коэффициент C_1 , осредненный за десятилетний период.

Не вся приходящая солнечная радиация отражается в космическое пространство – часть энергии поглощается, в основном, поверхностью Земли и, в малой степени, атмосферными газами [4]. Поглощенное тепло идет на нагревание почвы и океанской толщи, которые становятся источниками собственного длинноволнового излучения (согласно закону Стефана-Больцмана). Часть уходящей длинноволновой радиации задерживается в атмосфере, в то время как другая часть проходит через окно прозрачности в космическое пространство. Атмосфера также излучает длинноволновую радиацию, как в космос, так и к земной поверхности (противоизлучение атмосферы). Если бы длинноволновое излучение, не задерживаясь в атмосфере, полностью уходило в космос, то глобальная ПТВ равнялась бы 253,8 К (-19,2°C) [3, 16]. Но в реальности, глобальная приземная температура намного больше. Известно, что значительная часть уходящей длинноволновой радиации остается в атмосфере благодаря парниковому эффекту, который обуславливается наличием в атмосфере парниковых газов, включая водяной пар, и облачности [8, 9].

Для расчета оценки влияния вышеперечисленных факторов в изменчивость поглощенной длинноволновой радиации можно использовать различные параметризации. Найденные связи между значениями поглощенной атмосферой длинноволновой радиации [12] и значениями глобальной облачности [12], концентрациями водяного пара [12] и других парниковых газов [10] позволили сделать вывод о наличии зависимостей между этими параметрами, близких к линейным. На основании полученных зависимостей была создана параметризация для расчета оценки вкладов каждой из этих характеристик в межгодовую из-

менчивость поглощенной длинноволновой радиации [15]. За период с 2001 по 2010 г. вклад облачности менялся от 2 до 54 % от общего количества поглощенной длинноволновой радиации, вклад водяного пара – от 11 до 85 %, а на вклад парниковых газов пришлось от 8 до 37 %. В среднем, за период 2001–2010 гг. доминирующим фактором являлся водяной пар (около 64 %), а на долю парниковых газов и облачности приходилось около 19 и 17 %.

Так как глобальная ПТВ зависит от количества поглощенной в атмосфере длинноволновой радиации, то в формуле энергетического баланса Земли (1) следует учитывать долю энергии, задерживаемую парниковыми газами, водяным паром и облачностью (δ):

$$\frac{F_s(1-A)}{4} = \sigma T^4 - \delta \sigma T^4, \quad (4)$$

где T – глобальная ПТВ в некоторый момент времени t , К.

Найденные связи между значениями глобальной ПТВ и значениями глобальной облачности [13], концентрациями водяного пара [13] и других парниковых газов [10] позволили сделать вывод о наличии зависимостей между этими параметрами, близких к линейным [2]. На основании полученных зависимостей была создана параметризация для расчета количественной оценки вкладов каждой из этих характеристик в межгодовые изменения глобальной ПТВ. Доминирующий фактор межгодовых изменений глобальной приповерхностной ПТВ отсутствует. За период 1984–2008 гг. осредненный вклад облачности и парниковых газов за вычетом водяного пара в изменения глобальной ПТВ был примерно одинаков и составил 24 и 20 % соответственно, в то время как на водяной пар пришлось около 56 %. Полученные результаты находятся в противоречии с наиболее распространенным выводом ИРСС, где считается, что главным фактором, влияющим на изменение глобальной приповерхностной температуры воздуха, являются парниковые газы (углекислый газ, метан и закись азота) [11, 16].

Для создания параметризации уходящего длинноволнового излучения были проанализированы уже полученные близкие к линейным зависимости концентрации парниковых газов, водяного пара и количества глобальной облачности от глобальной ПТВ. Представим, что доля поглощения энергии парниковыми газами, водяным паром и облачностью (δ) есть функция от температуры и концентрации парниковых газов:

$$\delta = f\left(\frac{G}{G_0}; \frac{T}{T_0}\right), \quad (5)$$

где G – концентрация парниковых газов в некоторый момент времени t , млн^{-1} . G_0 – концентрация парниковых газов в начальный момент времени, млн^{-1} .

Будем считать, что увеличение или уменьшение водяного пара и облачности в большей степени зависит от температуры, в то время как концентрация парниковых газов изменяется в зависимости от многих причин (температура воздуха, усвоение углекислого газа океаном, промышленные выбросы и т.д.). За начальные условия принимаются значения параметров различных данных (тем-

пература, приходящая солнечная радиация, парниковые газы, водяной пар, альбедо, количество облачности и др.) в момент времени (год), принятый за начальный.

После разложения функции (5) в ряд Маклорена, получим:

$$f\left(\frac{G}{G_0}; \frac{T}{T_0}\right) = f\left(\frac{G_0}{G_0}; \frac{T_0}{T_0}\right) + \left[C_3 \left[\left(\frac{G}{G_0}\right) - \left(\frac{G_0}{G_0}\right) \right] + C_2 \left[\left(\frac{T}{T_0}\right) - \left(\frac{T_0}{T_0}\right) \right] \right], \quad (6)$$

где C_3, C_2 – безразмерные коэффициенты; $f\left(\frac{G_0}{G_0}; \frac{T_0}{T_0}\right) = \delta_0$ – доля поглощения радиации при начальных условиях $f\left(\frac{G}{G_0}; \frac{T}{T_0}\right) = \delta$ – доля поглощения радиации в некоторый момент времени t . Тогда преобразуем (6):

$$\delta_t = \delta_0 + C_3 \left[\left(\frac{G}{G_0}\right) - 1 \right] + C_2 \left[\left(\frac{T}{T_0}\right) - 1 \right] \quad (7)$$

при $T = T_0, \delta = \delta_0$.

В системе Земля-атмосфера неравенство потоков в формуле (1) приводит к изменению теплосодержания атмосферы Земли, которое можно представить как произведение изменения средней температуры по всей толще атмосферы (T_{cp} , К) на плотность (ρ_0 , кг/м³) и теплоемкость воздуха (C_p , Дж/(кг·К)); и на высоту атмосферы (H , м). Тогда можно написать:

$$\frac{dT_{cp}}{dt} = \frac{1}{C_p * \rho * H} \left[\frac{Fs * (1 - [A_0 + C_1 * (\frac{T}{T_0} - 1)])}{4} - (1 - \{\delta_0 + C_3 [\left(\frac{G}{G_0}\right) - 1] + C_2 [\left(\frac{T}{T_0}\right) - 1]\}) * \sigma * T^4 \right], \quad (8)$$

где t – время, с.

Так как в левой части уравнения температура, осредненная по всей толще атмосферы (T_{cp}), а в правой – глобальная ПТВ (T), то введем эмпирический коэффициент J . Коэффициент рассчитан с использованием вертикального профиля температуры в стандартной атмосфере [6, 17]. Тогда формула (8) будет выглядеть так:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{C_p * \rho * H * J} \left[\frac{Fs * (1 - [A_0 + C_1 * (\frac{T}{T_0} - 1)])}{4} - (1 - \{\delta_0 + C_3 [\left(\frac{G}{G_0}\right) - 1] + C_2 [\left(\frac{T}{T_0}\right) - 1]\}) * \sigma * T^4 \right] \quad (9)$$

Оценка трендов будущих изменений глобальной приповерхностной температуры воздуха

Для определения эмпирических коэффициентов C_1, C_2 и C_3 в формуле (9) были использованы описанные ранее данные по температуре [14], содержанию парниковых газов [10], а также спутниковые данные солнечной радиации и альбедо за период 2001–2011 гг. [12]. Затем, с использованием метода Рунге-Кутты с автоматическим пересчетом шага, были произведены расчеты на модели и построен прогноз изменения температуры до 2030 г.

Для того чтобы проверить валидность модели, был проведен сравнительный анализ фактических данных температуры и рассчитанных на модели значе-

ний (рис. 2). Можно констатировать, что разработанная модель достаточно хорошо воспроизводит наблюдаемые изменения глобальной приповерхностной температуры воздуха. Так, например, разработанная модель прогнозирует повышение глобальной приповерхностной температуры воздуха в 2013 г. Как известно, по последним данным Всемирной Метеорологической организации, 2013 г. будет одним из теплых за последнее десятилетие. При этом модель позволяет дать интерпретацию некоему парадоксу в эволюции глобальной ПТВ, не разрешимому в рамках гипотезы о доминирующем вкладе парниковых газов (за вычетом водяного пара) в ее изменчивость. Он заключен в том, что концентрация парниковых газов (за вычетом водяного пара) монотонно растет в течение рассматриваемого периода [10, 18]. В то же время в эволюции глобальной приповерхностной температуры воздуха имеют место периоды, когда ее значения уменьшались. На разработанной модели, учитывающей изменения приходящей коротковолновой радиации на верхней границе атмосферы, удастся, хотя и не всегда, воспроизвести данную особенность в эволюции глобальной приповерхностной температуры воздуха. Конечно, надо иметь в виду, что однопараметрическая модель не может рассчитать все колебания температуры воздуха, так как в ее основе заложены лишь главные климатообразующие факторы. Естественно, на кратковременные изменения глобальной ПТВ могут повлиять и непредвиденные факторы, которые невозможно учесть в моделях такого типа. К ним относятся сильнейшие извержения вулканов или явления Эль-Ниньо.

На основе модели было рассчитано два сценария изменения глобальной ПТВ до 2030 г. В основу обоих сценариев положен прогноз изменения солнечной радиации, в котором предполагается, что солнечная радиация с начала XXI в. постепенно начинает понижаться [1]. В основе первого сценария лежит предположение о постепенном увеличении парниковых газов (за исключением водяного пара), которое наблюдалось в последние десятилетия (на $1,93 \text{ млн}^{-1}$ в год) [18]. В соответствии со вторым сценарием концентрация парниковых газов, за вычетом водяного пара, остается постоянной до 2030 г. (на уровне 2011 г.).

Наши расчеты показали, что при постоянном увеличении концентрации парниковых газов на заданное значение, глобальная ПТВ будет плавно увеличиваться до 2030 г. В этом случае в 2030 г. температура воздуха может достигнуть значения $288,39 \text{ K}$ ($15,39 \text{ }^{\circ}\text{C}$), причем разница в температуре по сравнению с 2012 г. составит $0,64 \text{ }^{\circ}$. При фиксированном на уровне 2011 г. значении концентрации парниковых газов, приземная температура будет колебаться вокруг современных значений, причем в 2030 г. она составит $287,75 \text{ K}$ ($14,75 \text{ }^{\circ}\text{C}$), что соответствует температуре 2012 г. (рис. 2).

Выбранные условия позволили сравнить наши результаты с прогнозами изменений глобальной ПТВ, представленными ИРСС в 2013 г. (рис. 2) [11]. Все последние сценарии ИРСС предполагают повышение глобальной приповерхностной температуры воздуха к 2030 г. При этом модели ИРСС дают различные оценки повышения температуры. Считается, что минимальное значение повы-

шения температуры по сравнению с 2012 г. составит в 2030 г $0,43^{\circ}$, а максимальное $-1,53^{\circ}$. В среднем, глобальная ПТВ по прогнозам ИПСС может повыситься на $0,98^{\circ}$.

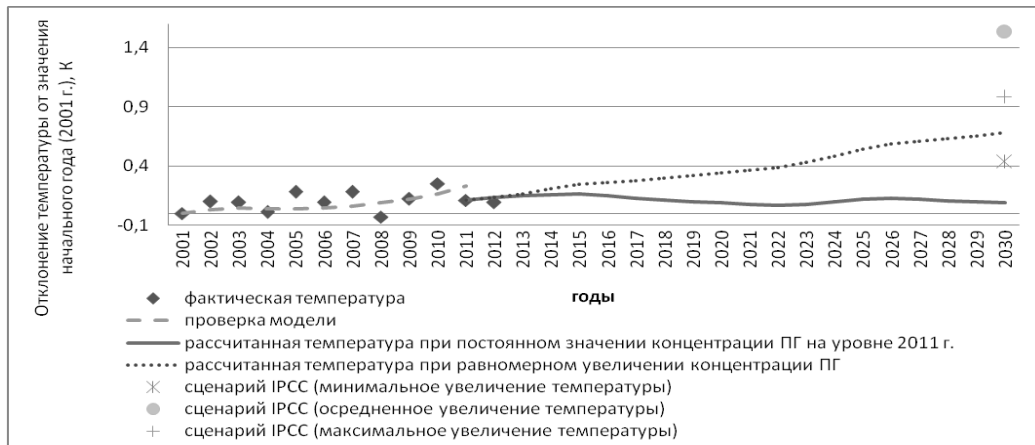


Рис. 2. Сценарии изменения глобальной приповерхностной температуры воздуха до 2030 г.

Приведенные данные дают основания сделать вывод о том, что наши модельные расчеты глобальной приповерхностной температуры воздуха при сохранении скорости увеличения концентраций парниковых газов в атмосфере, оказываются ниже на $0,85^{\circ}$ по сравнению с прогнозируемым ИПСС значением максимального повышения температуры и на $0,3^{\circ}$ ниже осредненного повышения температуры. При постоянном значении концентрации парниковых газов, зафиксированных на уровне 2011 г., рассчитанное нами значение глобальной приповерхностной температуры к 2030 г. должно быть ниже на $0,34^{\circ}$ по сравнению с аналогичными значениями, приведенными ИПСС. Расхождение в результатах можно объяснить тем, что в разработанной модели учитываются колебания приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации, которая в наших расчетах задавалась уменьшающейся в течение всего моделируемого периода. Напротив, эксперты ИПСС признают данный параметр незначительным.

Очевидно, что климат на Земле меняется, меняется и будет меняться. Но, изучая глобальные изменения климата, не стоит опираться только на антропогенное воздействие, обусловленное хозяйственной деятельностью человека. Существуют естественные причины изменения климата, которые вносят свои поправки в колебания климатической системы. Только комплексное изучение проблемы, учет всех составляющих климатической системы поможет наиболее качественно оценить прошлые и существующие изменения, а также дать достоверные сценарные оценки будущих изменений, которые позволят оценить последствия изменений климата.

Литература

1. Абдусаматов Х.И. Солнце диктует климат Земли. – СПб.: Logos, 2009. – 197 с.
2. Гусакова М.А., Карлин Л.Н. Влияние облачности на кратковременные климатические изменения // Уч. зап. РГГМУ, 2013, № 29, с. 95-99.
3. Кислов А.В. Климат в прошлом, настоящем и будущем // МГУ. МАИК «Наука». – Минск: Интерпериодика, 2001.
4. Алимов А.А., Карлин Л.Н., Музалевский А.А., Самусевич И.Н., Гусакова М.А. Климат Земли: мифы и реальность // Прил. к журналу «Безопасность жизнедеятельности», 2011, № 2.
5. Логинов В.Ф. Причины и следствия климатических изменений. – Минск: Навука і тэхніка, 1992. – 320 с.
6. Переведенцев Ю.П. Теория климата. – Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. – 504 с.
7. Акентьева Е.М., Алексеев Г.В., Анисимов О.А. и др. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. I. Изменения климата. – М.: Росгидромет, 2008, с. 112-213.
8. Семенов С.М. Парниковые газы и современный климат Земли. – М.: Изд. центр «Метеорология и гидрология», 2004. – 175 с.
9. Attribution of the present-day total greenhouse effect. G.A. Schmidt, R.A. Ruedy, R.L. Miller, A.A. Lacis // J. of Geoph. Res. №115, 2010, P. 1-6, DOI: 10.1029/2010JD014287.
10. Cape Grim Greenhouse Gas Data. CSIRO. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.csiro.au/greenhouse-gases>.
11. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working group I. Contribution to the Fifth assessment Report of the IPCC [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.UpWknie5fs0>
12. Clouds and the Earth Radiant Energy System (CERES) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ceres.larc.nasa.gov/>
13. Data Product Documentation And Software Available On-Line. ISCCP. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://isccp.giss.nasa.gov/index.htm>
14. GISS Surface Temperature Analysis. National Aeronautics and Space Administration [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v3.
15. Gusakova M.A., Karlin L.N. Transformation of longwave and shortwave radiation in the atmosphere // EMS Annual Meeting Abstracts, vol. 10, EMS2013-36, 2013. 13th EMS/ 11th ECAM, 09 – 13 September, Reading, UK, 2013.
16. Intergovernmental Panel on Climate Change (2007), Climate Change 2007: The Physical Science Basis, report, Cambridge University Press, New York City, 996 p.
17. Oliver J.E., Hidore J.J. Climatology. An atmospheric science. Prentice Hall. New Jersey. 2002. – 410 p.
18. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Earth System Research Laboratory. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/cc gg/trends>.

О.Н. Мандрыка, М.Б. Шилин, С.А. Коузов, С.В. Лукьянов

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, РАЗНООБРАЗИЕ
И УЯЗВИМОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКИХ СООБЩЕСТВ
КУРГАЛЬСКОГО РИФА**

O.N. Mandryka, M.B. Shilin, S.A. Kousov, S.V. Lukyanov

**KURGALSKY REEF: MODERN STATE, BIODIVERSITY,
AND BIOCENOSIS VULNERABILITY**

Комплексные исследования биотической и абиотической составляющих экосистемы Кургальского рифа проводилось с мая по октябрь 2013 г. Показано, что Кургальский архипелаг и Кургальский риф – это уникальный для восточной Балтики природный комплекс. Суровая гидрологическая ситуация создает экстремальные условия для крайне уязвимой донной фауны. Идентифицировано 35 таксонов бентоса, что примерно в 2 раза выше биоразнообразия на окружающей акватории Финского залива. Доказана ключевая роль архипелага и рифа в жизненном цикле беспозвоночных и позвоночных животных.

Ключевые слова: кургальский риф, архипелаг, лужская губа, акватория, колебания температуры.

A unique natural complex consisting of Kurgalsky Archipelago and Reef in the Eastern Baltic has been manifested. From May to October 2013 biotic and abiotic factors together for Kurgalsky Reef ecosystem estimated. Severe hydrological situation makes extremely vulnerable bottom fauna survive in marginal conditions. Nevertheless, 35 bentic species identified, biodiversity being as twice as more abundant compared to the Gulf of Finland adjacent waters. For successful invertebrate and vertebrate life and development the importance of Kurgalsky Archipelago along with the Reef has been proved.

Key words: kurgalskiy rif, archipelago, luga bay, water area, temperature oscillations.

Кургальский риф является естественной формой подводного рельефа, окаймляющего Кургальский полуостров, который на южном побережье Финского залива разделяет Лужскую губу и Нарвский залив. Риф входит в состав Кургальского архипелага и представляет собой длинную гряду подводных и выдающихся над водой камней (рис. 1).

Архипелаг, в свою очередь, складывается из нескольких островов, показанных на рис. 2.

Кургальский риф является одним из наиболее крупных мест массового гнездования и миграционных скоплений водно-болотных птиц у южного побе-

режья Финского залива. На рифе обитает также два вида ластоногих: балтийская кольчатая нерпа *Phoca hispida botnica* и серый тюлень *Halichoerus grypus*. В настоящее время архипелаг полностью включен в состав Кургальского государственного природного заказника (ГПЗ). Из общей площади водно-болотных угодий Кургальского ГПЗ, равной 65 000 га, на охраняемую акваторию Финского залива приходится 38 400 га [Положение, 2000]. Простираясь от береговой линии до глубины 10 м, охраняемая акватория занимает более половины площади ГПЗ (рис. 2).



Рис. 1. Кургальский риф – вид с мыса Питкенен нос



Рис. 2. Северная часть болотно-водных угодий Кургальского ГПЗ с номерами гидробиологических разрезов (1, 2, 3)

Источник: [Водно-болотные угодья России. Электронный ресурс]

Кургальский риф представляет собой уникальное геологическое и геоморфологическое образование [Атлас, 2010]. В то время как донные отложения в Лужской губе в целом, начиная с нижнего голоцена, практически целиком располагаются в зоне устойчивой нефелоидной аккумуляции, в непосредственной близости от берега Кургальского полуострова они представлены мелкозернистыми песками, которые характерны для зон современного волнового осадконакопления.

Очевидно, что такое значимое отличие структуры поверхностных донных отложений (илы на основной площади губы или чередование морены и мелкозернистых песков вдоль Кургальского полуострова) должно определять и существенное различие донных (бентосных) биологических сообществ на этих участках. Бентосные организмы играют ключевую роль в функционировании экосистемы Кургальского рифа, составляя основу рациона многих видов птиц и рыб; при этом вплоть до настоящего времени они специально не исследовались.

Данная работа посвящена исследованию современного состояния (прежде всего – разнообразию и уязвимости) макрозообентоса, орнито- и териофауны Кургальского рифа.

Материал и методы исследований

Комплексные исследования биотической и абиотической составляющих экосистемы Кургальского рифа проводили с мая по октябрь 2013 г. При выборе технологии отбора проб было принято во внимание, что в районе Кургальского рифа глубины редко превышают 2 м.

Температура и соленость воды в районе Кургальского рифа измерялась комплексным зондом GIDROBIOS (производство США) и зондом CTD CD-90м (производство США). Данные по вертикальным распределениям температуры и солености дополнительной статистической обработке не подвергались.

Течения измерялись с помощью автономного измерителя течений «Вектор-2» (разработка ААНИИ). Дискретность измерений 30 с. На горизонте прибор выдерживался 3–5 мин. Таким образом, на каждом горизонте получалось 6–11 циклов измерений. Полученные данные подвергались статистической обработке, в результате которой вычислялись средние характеристики течений по горизонтам.

Для отбора проб воды использовался батометр Молчанова или пластиковый батометр на 5 л воды (производство США), для отбора проб донного грунта и бентоса – ковш «Океан»-малый. После промывки через систему сит пробы бентоса отбирались в специальные контейнеры. Прозрачность воды измерялась с помощью диска Секки.

Вдоль приостровных участков рифа водолазным методом были обследованы глубины от 2 до 10 м на трех разрезах (см. рис. 2). На каждом разрезе выполнялись по три гидробиологических станции.

При проведении судовых и береговых маршрутных учетов орнито- и териофауны использовались методы визуальных наблюдений, рекомендованные

Прибалтийской комиссией по изучению миграций птиц [Kumari, 1979]. Исследования в береговой зоне на море осуществлялись с борта яхты «Маньяна», катера СМН и исследовательского судна «Соболец». Основные учеты гнездовых сообществ птиц осуществлялись в третьей декаде мая и в первой половине июня – в период, когда у всех массовых и большинства фоновых видов у всех размножающихся пар есть нелетные птенцы или сформированные кладки, то есть имеется возможность наиболее полно выявить численность видов, составляющих основу местных гнездовых сообществ. При высадках и работах вдоль побережья использовались надувная моторная лодка «Орион-5» и мотолодка «Мста-Н» с подвесным четырехтактным мотором «Меркурий-4.0». Для визуальных наблюдений использовались 25-кратный морской бинокль и 50–100-кратная подзорная труба «Юкон». Для регистрации скоплений птиц, гнезд, выводков и типичных биотопов использовался фотоаппарат Nikon D90 со сменными объективами Nikkor 50/1.8 AF и Nikkor AF-S 3500/4.

Полученные результаты

Вода на мелководье рифа хорошо прогревается в летнее время, но с конца ноября по конец апреля вся прибрежная зона покрывается льдом. Для осени характерны сильные шторма. Приливно-отливные явления незначительны.

На фоне общей достаточно большой изменчивости термохалинной структуры вод в Лужской губе, ее западная прибрежная область вдоль Кургальского полуострова дополнительно подвержена воздействию перемещающейся прибрежной фронтальной зоны в поле температуры и солёности. Следовательно, воздействие изменчивости полей температуры и солёности здесь максимально по отношению к остальной части акватории губы (рис. 3, 4).

Интенсивный прогрев водной толщи Лужской губы при слабом перемешивании и малоподвижности поверхностных слоев приводит к образованию прибрежной полосы с температурой выше 19°C , окаймляющей ее восточное и западное побережья. При этом мощность верхнего перемешанного слоя оказывается незначительной – не более 4–6 м. Слой скачка температуры и солёности расположен на глубинах 6–8 м и характеризуется значительными вертикальными градиентами (до $6,8^{\circ}\text{C/м}$ и 0,4 промилле/м, соответственно).

Нижние слои являются более подвижными. Карты распределения придонной температуры и солёности (рис. 5, 6) свидетельствуют о проникновении в Лужскую губу из открытой части Финского залива глубинных вод с температурой 3–4 $^{\circ}\text{C}$ и солёностью до 4–5 промилле, движущихся по западному и восточному желобам с севера на юг.

На рис. 7 и 8 представлены вертикальные разрезы температуры и солёности вдоль Кургальского полуострова и западного берега Лужской губы с севера на юг – от входа в губу до речки Выбья в середине мая 2013 г.

На представленных рисунках хорошо прослеживается верхний прогретый распресненный слой, температура которого растет, а солёность падает при при-

ближению к южному берегу губы, где в нее падают реки Луга и Выбья. Следует отметить, что в этом направлении вертикальная устойчивость водных слоев за счет пресного стока и уменьшения общей глубины значительно возрастает, о чем свидетельствует высокая плотность изотерм и изохалин.

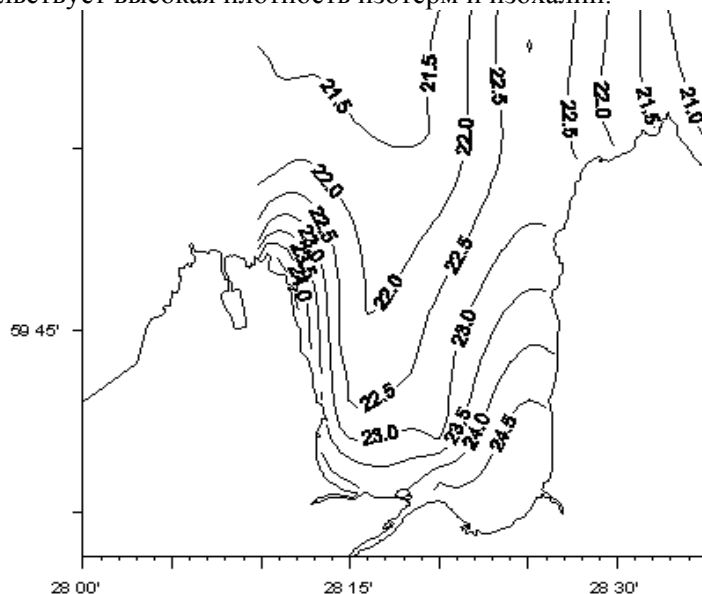


Рис. 3. Распределение температуры на поверхности Лужской губы в летнее время (по данным за 1999–2013 гг.)

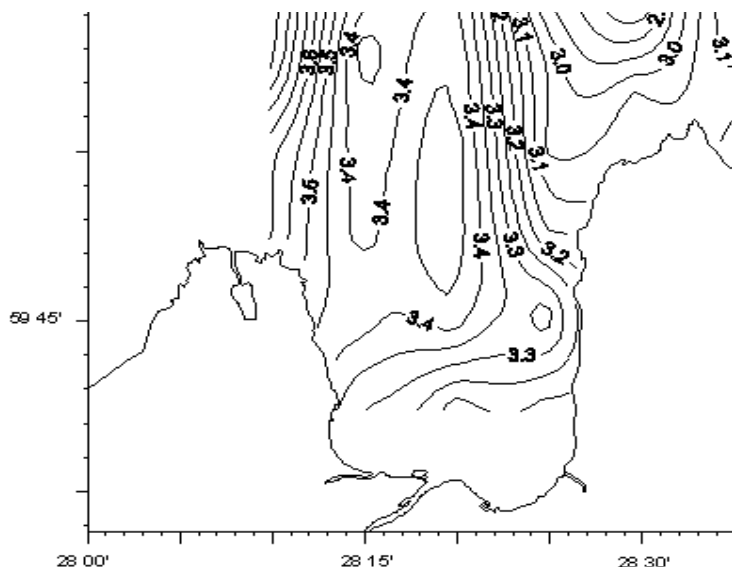


Рис. 4. Распределение солености на поверхности Лужской губы в летнее время (по данным за 1999–2013 гг.)

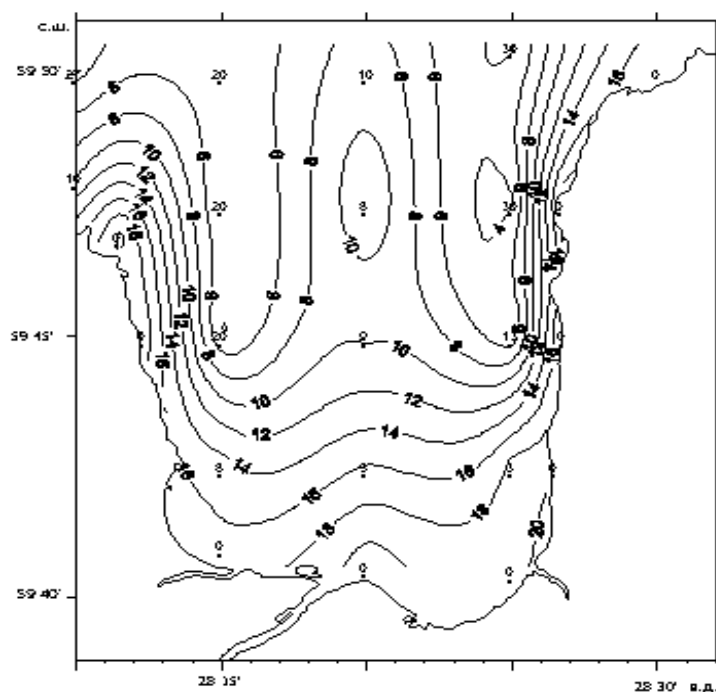


Рис. 5. Распределение температуры на дне (по данным за 1999–2013 гг.)

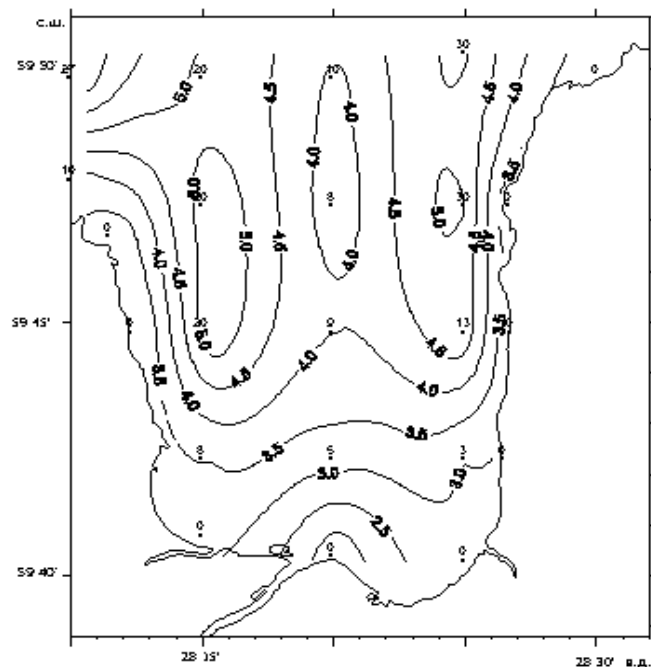


Рис. 6. Распределение солености на дне (по данным за 1999–2013 гг.)

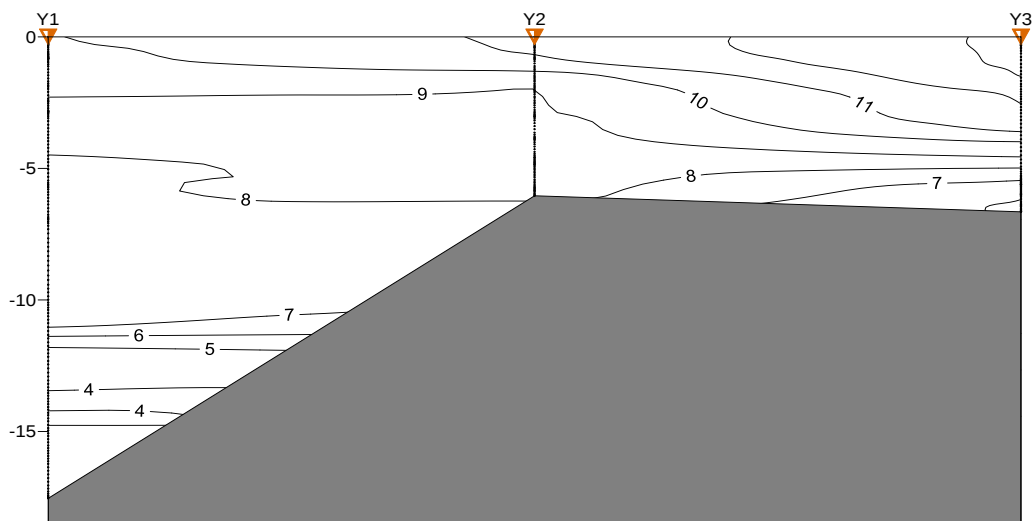


Рис. 7. Распределение солёности на дне (по данным за 1999–2013 гг.)

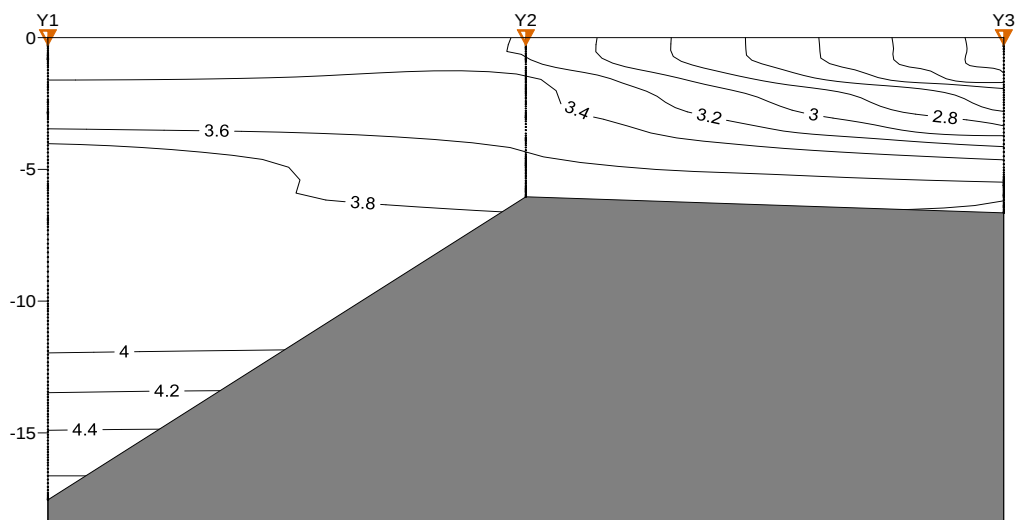


Рис. 8. Распределение солёности на разрезе по станциям Y1_Y2_Y3 в мае 2013 г.

Гидрологические условия оказывают ключевое воздействие на формирование условий в бентали, в частности – на состав и структуру донных отложений. Так, илы откладываются в зонах относительно спокойной динамики вод, а пески и морены вдоль берега – в зонах активного динамического воздействия.

В летнее время повсеместно в Лужской губе, в том числе в районе Кургальского рифа, периодически наблюдается довольно мощный апвеллинг – подъем придонных вод к поверхности вплоть до образования зон вентиляции. Эти колебания температуры (до 5–7 °C) и солёности (до 2–3 ‰) в синоптиче-

ском масштабе времени являются дополнительным лимитирующим фактором для развития донной биоты. По существу они аналогичны условному перемещению биотопов в летний период то в верхний прогретый распресненный слой воды, то в нижний наиболее холодный и соленый. Подобные условия можно сравнить с приливными эстуариями в устьях рек. Но приливные колебания строго периодичны, а апвеллинг возникает как внезапно действующий экологический фактор, определяющийся общей синоптической ситуацией в районе Балтийского моря, которая чрезвычайно изменчива по сезонам.

В зимний период колебания температуры и солености вследствие полного перемешивания вод при конвекции незначительны. На мелководных участках Кургальского рифа при подвижках ледяного покрова неизбежно образуются торосы. Подвижные торосы – стамухи, перемещаемые ветром и течением, пропахивают дно, оказывая на бентос истирающее воздействие. Поэтому для биоты, прикрепленной ко дну, механическое воздействие льда является дополнительным стрессовым фактором.

Воды Лужской губы и акватории Кургальского рифа имеют меньшую, чем обычная морская вода, солёность (в среднем 3,6 ‰, что соответствует солоноватым водным массам), которая является лимитирующим фактором в распространении и морской и пресноводной фауны [Хлебович, 1974; Мороз, Гильман, 1988; Федоров и др., 2008]. Пограничные («критические») значения солености неблагоприятно влияют как на пресноводные, так и на морские виды. Поэтому для сообществ, формирующихся в подобных условиях, обычно характерны более низкие показатели обилия и видового разнообразия по сравнению с настоящими морскими или пресными водоемами фауны [Погребов и др., 2006; Еремина, Карлин, 2008; Шилин и др., 2012; Лымарев, Шилин, 2013]. Это четко появилось при выполнении гидробиологических исследований на разрезах.

Разрез 1 на запад от о. Реймисар. Грунт представлен средним, слабо заиленным песком. На глубине 10 м камни диаметром 0,2–0,4 м утоплены в песок. На глубине 6,5–6 м камни, обросшие нитчатыми водорослями, покрыты коркой мшанок *Electra crustulenta baltica*. На глубине 2 м (200 м от берега) наблюдается переход к одиночным валунам 1,5–2 м в диаметре, которые зарастают бурой морской водорослью *Fucus vesiculosus* вперемешку с нитчатыми водорослями. На фукусах в изобилии поселяются брюхоногие моллюски *Theodoxis fluviatilis* и рачки рода *Gammarus*. Ближе к берегу мелких камней нет, а песок средний и крупный. Мористее к глубине 3 м отмечено несколько гряд валунов

Разрез 2 на запад от о. Хитоматала. Грунт представлен средним и крупным песком, образующим волны «ряби» высотой 8 см, идущие параллельно Кургальскому рифу. Расстояние между гребнями – 15–20 см. Заиленность грунта доходит до 30 % от площади. Нитчатые водоросли покрывают до 30 % площади. Обрастания нет. Ближе к берегу начинается средний и крупный песок, «рябь» отсутствует. Подводные поляны нитчатых водорослей покрывают до 85 % площади дна. Повсеместно встречаются валуны, обросшие усоногими рачками

баланусами, *Balanus improvisus*. На глубине 2 м дно целиком каменистое, состоящее на 90 % из камней, диаметром около 20 см, гальки и отдельных валунов до 1 м в диаметре. Среднезернистый песок занимает лишь 10 %. Отмечено сплошное обрастание дна, на 80 % нитчатыми водорослями и на 20 % фукусом.

Разрез 3 пролегал от глубины 7 м через 5-метровую глубину до песчаной банки в виде языка. На указанных глубинах 70% дна покрыто валунами и камнями разного размера, часто занесенными песком. Нитчатые и бурые водоросли здесь низкорослые. Баланусы встречаются единично, а мшанок гораздо меньше. Створки моллюска *Macoma balthica* покрывают до 10% площади дна.

Обследование Кургальского рифа показало, что согласно классификации биотопов CORINE [CORINE Biotopes, 1991] местные подводные ландшафты представлены всеми типами, кроме скальных грунтов. На глубине 3 м иногда проходят гряды крупной гальки или валунов, которые являются субстратом для обитания бурой водоросли *Fucus vesiculosus*, а также беспозвоночных-обрастателей – таких, как баланусы и мшанки. На распределение бентосных животных на мелководьях значительное влияние оказывает наличие подводных и надводных гряд. Например, в районе острова Хитоматала это приводит к образованию небольших заливов со специфической фауной. Популяция морской амфиподы *Gammarus oceanicus* обитает здесь на среднезернистом песке, лишенном всякой растительности, от глубины 2 до 5–6 м. Вероятно, гаммарусы собирают с поверхности грунта органические вещества, которые образуются в результате жизнедеятельности многочисленных тюленей и птиц, населяющих Кургальский архипелаг.

В результате работы на Кургальском рифе было идентифицировано 35 таксонов донных беспозвоночных, населяющих глубины от 2 до 10 м. Совместный анализ подводных ландшафтов и биоразнообразия позволяет выделить следующие биоценозы бентосных организмов.

В зоне фитали на глубинах 4–8 м обитает характерный амфиподно-изоподовый биоценоз *Gammarus zaddachi* + *Jaera albifrons*. Субдоминирующую роль в нем играют пресноводные брюхоногие моллюски *Lymnaea fontinalis* и *Theodoxus fluviatilis*.

Для 2-метровой глубины характерен биоценоз *Theodoxus fluviatilis* + *Gammarus salinus* при субдоминантной роли *Lymnaea fontinalis*.

На песках на глубинах 4–10 м встречается характерный для Балтики биоценоз двустворчатого моллюска *Macoma balthica* и реликтового равноногого ракообразного *Saduria entomon*.

На каменистых грунтах в изобилии встречаются морские желуди и палеарктические мшанки *Electra crustulenta baltica*.

В сложившихся условиях пристального внимания зачастую требуют малочисленные виды животных, которые не являются доминирующими или субдоминирующими в биоценозах. Выше были описаны уникальный биотоп и трофические связи *Gammarus oceanicus*. Изопода *Jaera albifrons* крайне чувстви-

тельна к органическому загрязнению и от ее благополучия зависит целостность всего биоценоза фитали.

По материалам, полученным в предыдущие годы, посредством коэффициентов видового сходства Жаккара и Сьёренсена [Лебедева, Кривошук, 2002] проводилось сравнение биоразнообразия донной фауны Кургальского рифа с акваторией солоноватого озера Липовского, включая протоку, и островами открытой части Финского залива: Гогланда, Большого Тютерса, Северных и Южных Виргин. Как выяснилось, таксономический состав Кургальского рифа оказался в полтора – два раза богаче макробентоса указанных районов на тех же глубинах. Значения коэффициента видового сходства Жаккара составили 14,3 % при сравнении с озером Липовским и 23,5 % при сравнении с островами. Популярный у гидробиологов коэффициент общности видового состава Сьёренсена показал значения 0,29 и 0,47 соответственно.

Это, с одной стороны, указывает на наличие некоторого сходства между фауной Кургальского рифа и островов открытой части Финского залива, а с другой стороны, подчеркивает ее уникальность, поскольку величины индексов невелики.

Нельзя забывать о том, что морской таракан *Saduria entomon* и нектобентосный бокоплав *Monoporeia affinis* являются единственными представителями иольдиевого комплекса в современной Балтике. В 1980-х годах и ранее основными объектами питания балтийской сельди (салаки, наиболее продуктивного вида рыб Финского залива) в зимние месяцы были бокоплавы *Monoporeia affinis*. В настоящее время они относятся лишь к субдоминантам, уступив место чужеродным видам. В результате условия питания салаки значительно ухудшились. Если в 1970-х годах среднее наполнение желудков (по 6-бальной шкале) составляло 4–5 баллов, то к концу 1990-х годов оно уменьшилось до 2–3 баллов [Голубков и др., 2010].

Суровые гидрологические условия уже сами по себе делают донную фауну Кургальского рифа весьма уязвимой. К этому добавляется целый ряд негативных воздействий на акваторию от строительства портовых комплексов и роста антропогенной нагрузки в регионе, приводящей к эвтрофикации вод. В отличие от островов открытой части Финского залива, Кургальский риф более подвержен антропогенным нагрузкам. Это объясняется тем, что архипелаг отделяет внутреннюю, эвтрофированную часть залива, Лужскую губу, от открытой – более чистой.

За весь период исследований орнитофауны с 1990 г. по настоящее время на Кургальском рифе отмечено 33 гнездящихся вида водно-болотных (гидрофильных) птиц, из которых 16 являются крайне редкими или новыми в регионе видами (табл. 1).

Из-за целого ряда факторов (сокращение количества антропогенных кормов из-за остановки рыбоперерабатывающих комбинатов, проникновение на острова наземных хищников и усиление рекреационных нагрузок) по сравне-

нию с последними десятилетиями прошлого века к настоящему времени произошло значительное (более чем в 3 раза) сокращения числа гнездящихся пар в местных орнитокомплексах. В первую очередь это произошло за счет доминировавшей здесь ранее, в 1990–1999 гг., серебристой чайки *Larus argentatus* (рис. 9) – вида-полифага, рацион которого в значительной степени составляли отходы закрытых в настоящее время рыбоперерабатывающих комбинатов.

Таблица 1

Видовой состав гидрофильных орнитокомплексов Кургальского рифа в 1990–1999 и 2005–2013 гг. Минимальные и максимальные годовые значения численности гнездовых пар водно-болотных птиц на Кургальском рифе в 2005–2013 гг.

Вид	Количество гнезд (min-max)	
Большая поганка	Podiceps cristatus	-
Лебедь-шипун	Cygnus cygnus	1-24
Серый гусь	Anser anser	1-6
Пеганка	Tadorna tadorna	0-1
Кряква	Anas platyrhynchos	1-4
Широконоска	Anas clypeata	1-3
Серая утка	Anas strepera	2-5
Хохлатая чернеть	Aythya fuligula	2-5
Большой крохаль	Mergus merganser	1-3
Средний крохаль	Mergus serrator	2-5
Турпан	Melanitta fusca	-
Гага	Somateria mollissima	1-2
Галстучник	Charadrius hiaticula	0-2
Малый-зук	Charadrius dubius	2-5
Кулик-сорока	Haematopus ostralegus	0-1
Травник	Tringa totanus	3-7
Малый чернозобик	Calidris alpina schinzii L.	0-1
Камнешарка	Arenaria interpres	-
Серебристая чайка	Larus fuscus	280-340
Клуша	Larus fuscus	-
Морская чайка	Larus marinus	4-6
Сизая чайка	Larus canus	10-16
Озерная чайка	larus ridibundus	-
Речная крачка	Sterna hirundo	34-510
Полярная крачка	S. paradisaea	120-250
Малая крачка	Sterna albifrons	1-48
Чеграва	Hydroprogne caspia	0-2
Пестроногая крачка	Talassius sandvicensis	-
Чистик	Cepphus grulle	-
Гагарка	Alca torda	-
Лысуха	Fulica atra	-
Погоньш	Porzana porzana	1-3
Коростель	Crex crex	1-2

Примечания: «–» в графе «Количество гнезд» означает, что вид перестал гнездиться в 2005–2013 гг. Редкие для региона виды отмечены жирным шрифтом.



Рис. 9. Серебристая чайка *Larus argentatus* – массовый колониальный вид на островах Кургальского рифа, в последние годы отмечено сокращение численности более чем в 3 раза

К настоящему времени на рифе остались только 2 из 4 колоний этого вида. Отмечено исчезновение из состава орнитофауны 9 видов, в том числе и таких редких для региона, как камнешарка *Arenaria interpres*, клуша *Larus fuscus*, пестроносая крачка *Talassius sandvicensis*, турпан *Melanitta fusca*, гагарка *Alca torda* и чистик *Cephus grulle*. В тоже время, отмечено появление 2 новых видов – малой крачки *Sterna albifrons* и галстучника *Charadrius hiaticula*.

В настоящее время на рифе ежегодно гнездится от 500 до 1200 пар птиц 24 видов (табл. 1). Более 90% гнезд принадлежит массовым колониальным видам чайковых. В последние годы доминировать начинает речная крачка *Sterna hirundo*, у которой совместно с полярной крачкой *Sterna paradisaea* и малой крачкой *Sterna albifrons* отмечен интенсивный рост численности, что отчасти может быть связано с намывом новых песчаных кос из-за смены розы ветров осенних штормов. Фактически происходит частичное замещение связанного с антропогенными кормами полифага – серебристой чайки – на охотящихся с воздуха в поверхностном слое воды ихтиофагов. Неколониальные виды представлены весьма небольшим числом пар. Среди них численно преобладают гу-сеобразные, широко представленные как растительоядными (лебедь-шипун, серый гусь, серая утка), так и животнойядными формами (широконоска, хохлатая чернеть, большой и средний крохали, гага). Кроме того, острова Кургальского рифа являются местом регулярного отдыха от 200 до 500 больших бакланов *Phalacrocorax carbo sinensis*, гнездящихся в 20 км на юго-запад от Кургальского рифа на о. Реймосар в Нарвском заливе. Этот глубоководный ныряльщик-ихтиофаг в последние десятилетия становится самым многочисленным колониальным видом в восточной части Финского залива.

Акватория открытая Кургальского рифа вплоть до банки Хитоматала и рифа Островной является местом массовых скоплений линяющих птиц, среди которых доминирует гоголь *Vucephala clangula* (1–4 тысячи птиц), обычны большой и средний крохали (до 200–400 птиц) и лебедь-шипун (200–300 птиц). Чрезвычайно важны эти мелководья для остановок мигрирующих птиц в весенний и осенний период. Наиболее массовые стоянки – до 4–6 тысяч особей – в это время образуют морские нырковые утки морянка *Clangula hyemalis* (рис. 10), синьга *Melanitta nigra* и турпан *Melanitta fusca*. Их скопления отмечаются как на расстоянии 2–3 км от побережья и островов (преимущественно восточнее), так и на всей открытой акватории Кургальского рифа. Песчаные острова и косы являются местами скоплений мигрирующих чайковых птиц и куликов, общая численность которых в дни пиков миграции может достигать до 1–2 тысяч птиц.



Рис. 10. Морянка *Clangula hyemalis* – самый массовый вид на осенней миграции

По результатам наблюдений за ластоногими Кургальский риф может быть признан одним из ключевых биотопов для этих животных.

Кольчатая нерпа (рис. 11) обычна на залежках в мае и сентябре-октябре на камнях около о. Ремисаар. Здесь держатся обычно 10–20 зверей, но в отдельные дни может регистрироваться до 40 нерп. Отдельные особи в марте размножаются у побережья рифа.

Серый тюлень (рис. 12) образует залежки на банке Хитоматала в центральной части Кургальского рифа, в 8 км от берега. В конце прошлого века здесь отмечалось от 100 до 300 зверей, в последние годы – 150–250 зверей. В небольшом числе тюлень размножается во льдах в марте.



Рис. 11. Балтийская кольчатая нерпа *Phoca hispida botnica* обычна на залежках у островов Кургальского рифа



Рис. 12. Серый тюлень *Halichoerus grypus* – образует массовые залежки на банке Хитоматала в 8 км от побережья

Выводы

1. Кургальский архипелаг и Кургальский риф – уникальный для восточной Балтики единый природный комплекс.
2. Кургальский риф в безледный период испытывает максимальное воздействие перемещающейся прибрежной фронтальной зоны, приводящее к резким колебаниям температуры и солености. В зимний период при подвижках ледяного покрова на мелководьях рифа образуются торосы, которые могут переме-

щаться в виде стамух и пропахивать дно. Это создает экстремальные условия для обитающей здесь донной фауны.

3. На глубинах от 2 до 10 м идентифицировано 35 таксонов донных беспозвоночных, что в полтора-два раза превышает биоразнообразие как соседних акваторий, так и островов открытой части Финского залива.

4. Низкие значения коэффициентов видового сходства Жаккара и Сьёренсена между фауной Кургальского рифа и прилежащих акваторий говорят об уникальности бентоса рифа. В донных биоценозах сохранились два реликтовых вида.

5. Бентофауна Кургальского рифа является крайне уязвимой, во-первых, из-за суровых гидрологических условий и, во-вторых, вследствие возрастающей антропогенной нагрузки при строительстве и эксплуатации портовых комплексов в Лужской губе (возрастание мутности, сокращение плотности мелководий).

6. Изменение структуры донных биоценозов неизбежно приводит как к потере биоразнообразия фауны, в первую очередь реликтовой, так и к утрате балтийской сельдью кормовой базы в зимний период.

7. Кургальский риф является ключевым биотопом в жизненном цикле многих видов водно-болотных птиц, использующих его как место гнездования, линьки и стоянки на весеннем и осеннем миграционном пролете.

8. В районе Кургальского рифа отмечены места постоянных залежек и единичные случаи размножения серого тюленя и кольчатой нерпы.

9. Бентосные сообщества связаны с орнитокомплексами и териофауной рифа опосредованно, через рыб-бентофагов. Прямые трофические связи не выявлены. В пищевых цепях бентоса важную роль играет органическое вещество, образующееся в результате жизнедеятельности тюленей и птиц.

Литература

- Атлас геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2010, – 86 с.
- Водно-болотные угодья России. Электронный ресурс. <http://www.fesk.ru/wetlands/12.html>
- Голубков С.М., Максимов А.А., Голубков М.С. и Литвинчук Л.Ф. Функциональный сдвиг в экосистеме восточной части Финского залива под влиянием естественных и антропогенных факторов // Докл. Акад. наук, 2010. 432(3): 423-425.
- Еремينا Т.Р., Карлин Л.Н. Современные черты гидрохимических условий восточной части Финского залива // Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы. – СПб-М.: изд-во Товарищества научных изданий КМН, 2008, с. 24-38.
- Лебедева Н.В., Криволицкий Д.А. Биологическое разнообразие и методы его оценки. В кн.: География и мониторинг биоразнообразия. – М.: Изд-во Научного и учебно-методич. центра, 2002, с. 9-72.
- Лымарев В.И., Шилин М.Б. Соленость как фактор, влияющий на процессы формирования береговых биотопов // Тр. Зоол. ин-та РАН, Приложение № 3, 2013, с. 229-231.
- Мороз Т.Г., Гильман В.Л. Типизация солоноватых вод на гидробиологической основе // Гидробиол. журнал, т. 24, 1988, № 5, с. 64-67.
- Погребов В.Б., Сагитов Р.А., Дмитриев Н.В. Природоохранный атлас российской части Финского залива. – СПб.: Тускарора, 2006. – 48 с.
- Положение о государственном природном комплексном заказнике «Кургальский» регионального значения № 309-пг от 20.07.2000.

Федоров М.П., Шилин М.Б., Горбунов Н.Е. Экологические основы управления природно-техническими системами. – СПб: изд-во СПб ГПУ, 2008. – 505 с.

Шилин М.Б., Погребов В.Б., Лукьянов С.В., Мамаева М.А., Леднова Ю.А. Экологическая уязвимость береговой зоны восточной части Финского залива к дреджингу // Уч. зап. РГГМУ, 2012, № 25, с. 107-122.

Хлебович В.В. Критическая соленость биологических процессов. – Л.: Наука, 1974. – 235 с.

European Communities (1991). CORINE Biotopes: the design, compilation and use of an inventory of sites of major importance for nature conservation in the European Community Commission of the European Communities: Luxembourg, 1991. – 132 p.

Kumari E.V. Methods of Study of Visible Bird Migrations / Tartu, 1979. – 29 p.

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.2 федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (проект № 14.512.11.0113 от 10.10.2013 г.).

С.В. Коузов, М.Б. Шилин, А.Н. Чусов

**РАЗНООБРАЗИЕ И УЯЗВИМОСТЬ ОРНИТОФАУНЫ
ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА В РАЙОНЕ
МОРСКОГО ГАЗОПРОВОДА «НОРДСТРИМ»**

S.V. Kouzov, M.B. Shilin, A.N. Chusov

**VARIETY AND VULNERABILITY OF ORNITHOFAUNA IN THE
EASTERN PART OF THE GULF OF FINLAND IN THE REGION
OF «NORD STREAM» SEA GAS PIPELINE**

В 2010–2013 гг. выполнены наблюдения за миграциями и гнездованием птиц в коридоре морского газопровода в российском секторе Финского залива (Балтийское море). Миграционная активность изучена в прибрежной зоне островов Фискаар, Соммерс, Нерва, Мощный, Сескар, Большой Тюттерс, Малый Тюттерс и Гогланд, а также в бухте Портовая. Информация о популяциях гнездящихся птиц получена методом маршрутных наблюдений на этих биотопах. Установлено, что строительство и эксплуатация газопровода не оказали негативного воздействия на основные характеристики орнитоценоза. Фактор беспокойства проявился в бухте Портовая в виде сокращения численности гнездящихся уток. Редкие и охраняемые виды не затронуты воздействием газопровода. Показано, что для оценки воздействия газопровода на орнитофауну следует принимать во внимание только информацию по видам, экологически связанным с водной средой и прибрежно-морской зоной. В эту группу входят типичные представители балтийского морского фаунистического комплекса, а также виды, связанные с пресноводными водоемами и использующие прибрежно-морскую зону для отдыха и кормежки во время периода миграций.

Ключевые слова: газопровод, залив, ландшафт, вид, сведения, остров.

In 2010–2013 the observations on the bird migrations and reproduction / nesting were carried out on the gas-pipeline corridor in the Russian sector of the Gulf of Finland (Baltic Sea). Migrations activity was studied in the coastal zone of Fiskar, Sommers, Nerva, Moschny, Seskar, Bolshoy Tutters, Maliy Tutters and Gogland Islands and in Portovaja Bay. Information about the nesting populations was collected during marshrout observations on these biotopes. It was found that the gas-pipeline construction and exploiting do not effect the basic characteristics of functioning, dynamics and reproduction of the ornitocenosis. The disturbance factor was observed in the Portovaja Bay in form of decreasing of the number of nesting ducks. The rare and protected species of the ornitofauna are not affected by the pipeline construction. It was shown that for the assessment of the pipeline influence on the ornitofauna only the species can be used which are ecologically connected with the water environment and the coastal zone biotopes. In this group there are the typical species of the marine Baltic fauna, and the species which are connected with freshwater lakes, but using the marine coastal zone as a place of relaxation and feeding during the migration period.

Key words: gas-pipe, bay, landscape, kind, information, island.

Введение

Островной район восточной части Финского залива до начала XXI столетия практически представлял собой самый обширный естественный морской заповедник России, что было связано с его расположением в пограничной зоне и таким образом исключало какое-либо антропогенное воздействие. Здесь сохранились чрезвычайно богатые в видовом отношении и разнообразные сообщества гнездящихся и мигрирующих водоплавающих птиц, включающие ряд редких для региона видов (Носков и др., 1993; Гагинская, 1995; Иовченко и др., 2004). Развернувшееся в последние десятилетия портово-промышленное и рекреационное освоение расположенных поблизости береговых участков пограничной зоны (строительство портовых комплексов в Усть-Луге, Вистино, Высоцке и Приморске, коттеджное и дачное строительство, туристическая активность) пока напрямую не затрагивает островов и открытой акватории Финского залива. Вместе с тем, прокладка здесь в 2010 г. подводной части газотрубопровода (ГТП) «Нордстрим» (проект «Северный Поток») и его дальнейшее функционирование требуют пристального внимания специалистов как новый антропогенный фактор, могущий оказать в ближайшее время существенное воздействие на местные экосистемы.

ГТП «Нордстрим» представляет собой линейный техносферный объект (см.: Шилин и др., 2012) общей протяженностью 1220 км, из которых на российскую часть приходится 122,5 км (рис. 1).

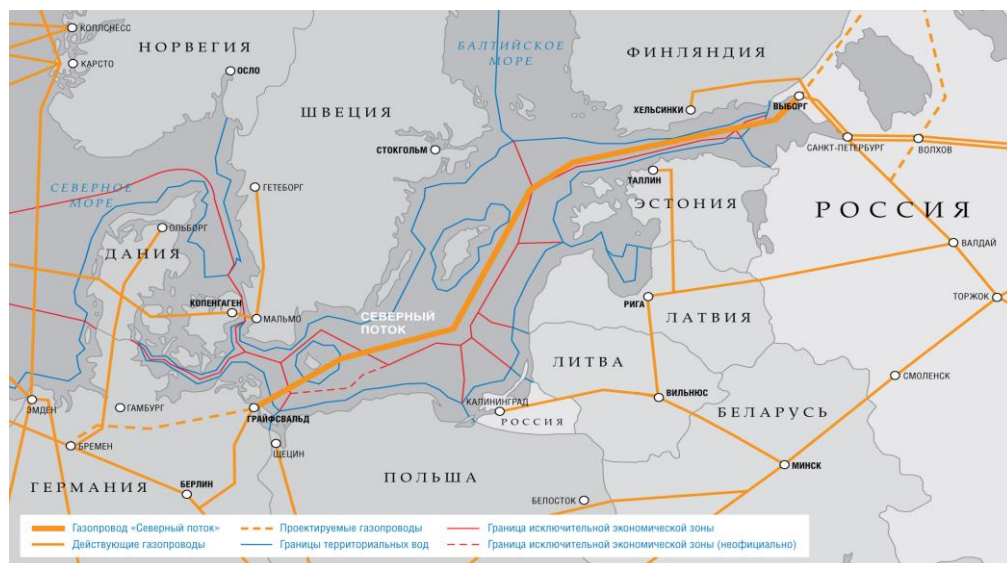


Рис. 1. Трасса морского газотрубопровода «Нордстрим»

Проект реализован с целью бесперебойной транспортировки природного газа в страны Западной Европы. Проектная мощность ГТП составляет 55 млрд

куб. м газа в год. Работы по оценке возможного воздействия ГТП на природную среду были завершены в 2009 г. В 2010 г. были начаты гидротехнические и дреджинговые работы по прокладке ГТП. В ходе работ в Финском заливе перемещена масса твердого донного грунта («дреджингового материала») объемом 423 000 млн куб. м. В 2011 г. вступила в эксплуатацию первая нить ГТП. Представляет научный и практический интерес оценить степень воздействия ГТП на орнитофауну восточной части Финского залива, являющуюся важным компонентом местной прибрежно-морской экосистемы.

Методы исследований

В рамках мониторинга проекта «Нордстрим» в 2010–2013 гг. проведены наблюдения за миграциями и гнездованием птиц в районе трассы ГТП в российском секторе Финского залива. В течение трех лет исследования проводили в районе непосредственного пролегания ГТП на маршруте «Бухта Портовая Выборгского залива – о. Малый Фискаар – арх. Большой Фискаар – о. Соммерс – о. Гогланд – о. Родшер – арх. Виргины» («Зона 1») (рис. 2).



Рис. 2. Карта обследованных островных и береговых биотопов

В 2013 г. в качестве контрольного («эталонного») участка для сравнения с зоной пролегания ГТП были проведены также исследования в «Зоне 2», включившей в себя острова Нерва, Мощный и архипелаг Сескар (рис. 2).

Наблюдения за миграциями и стоянками птиц выполнены методом трансектных учетов с борта маломерных судов на маршрутах, проходящих через всю восточную часть Финского залива от северного берега (бухта Портовая) до южного (Кургальский полуостров) и на запад до островов Гогланд и Малый

Тюттерс. При учетах мигрирующих птиц использовались 25-кратный морской бинокль, 50–100-кратная подзорная труба «Юкон» и фотоаппарат Nikon D90 с объективом Nikkor AF-S 3500/4.

Сведения о гнездящихся видах получены методом тотальных учетов на островах и ключевых участках побережья бухты Портовой.

Результаты

1. Ландшафтно-биотопические особенности района исследований.

Рельеф северного сектора Финского залива, через который проходит граница Балтийского кристаллического щита, определяется выходами гранитов-рапакиви. Сельговый ландшафт выражается в больших перепадах глубин, выходами обширных каменистых банок и каменных «бараньих лбов», образующих острова и прибрежные мысы. Перепады глубин на открытой акватории колеблются от 10–40 м у о. М. Фискар до 18–70 м у о. Гогланд. Ниже дается описание ключевых биотопов в «Зоне 1» (по трассе ГТП) по направлению с северо-востока на юго-запад.

Бухта Портовая, от которой начинается морской участок трассы ГТП, имеет площадь 8 кв. км, в ее центральной части преобладают глубины 5–10 м. В береговых бухтах имеются отложения песка и галечника, а также валунные гряды, имеющие моренное и эрозионное происхождение. Во внутренней части береговых бухт отмечены ленточные заросли полупогруженной растительности.

Остров Малый Фискар (60°28' с.ш., 28°05' в.д.) находится в 4 км от северного побережья залива и на расстоянии 4 км от трассы ГТП. Площадь острова составляет 1,5 га. По существу это скала, плоская вершина которой покрыта зарослями травянистых и кустарниковых растений. В центральной части острова, в понижении произрастает несколько осин и три сосны, имеется несколько «висячих озер». Каменистые берега, лишенные растительности, круто уходят под воду. Мелководная зона вокруг острова отсутствует.

Архипелаг Большой Фискар расположен на открытой акватории залива, в 2 км к западу от трассы ГТП. В архипелаг входит несколько островов, общая площадь которых составляет 7 га. Острова представляют собой омываемые водами гранитные монолиты. На плоских каменистых берегах растительность практически отсутствует. Она приурочена в основном к центральным частям островов, причем особенно развита в понижениях, расселинах и трещинах камней. На центральном острове архипелага – Манонене (60°24' с. ш., 27° 56' в. д.) имеется маяк высотой 10 м. Здесь произрастает небольшая роща из невысоких рябин и осин ветровой формы. Остальные острова безлесны. Травянистая растительность носит рудеральный характер.

Остров Коммерс площадью около 0,28 км² расположен в центральной части залива и представляет собой скалу-рапакиви высотой до 15 м. Побережье изрезанное, изобилует глубокими бухтами. Древесная растительность почти не развита и представлена несколькими низкорослыми осинами, рябиной и порослью черной ольхи в центральной части.

Остров Гогланд (60°01' – 60°06' с. ш.; 26°56' – 27°00' в. д.) – самый крупный из островов российской части Финского залива, отделяющий его западную, более глубоководную и соленую часть от восточной – более мелководной и пресной. Остров вытянут почти в меридиональном направлении – с северо-северо-запада на юго-юго-восток. Длина острова – 11 км, ширина варьирует от 1,5 до 3 км. Общая площадь 20,65 кв. км. Абсолютные отметки высот – от 143 м в северной части до 175,7 м в южной. Восточное побережье расчленено слабо, западное – более интенсивно, с формированием небольших бухточек и скальных островков. Берега в основном скалистые, в бухточках – валунно-галечные. Почти 80 % территории острова покрыто лесной растительностью, главным образом – хвойными и хвойно-мелколиственными лесами. Вершины скал покрыты лишайниками и редкими сосенками. На острове имеется пять небольших внутренних озер. Трасса ГТП проходит в 2,5 км от северной оконечности острова.

В «эталонной» «Зоне 2» максимальные глубины существенно меньше (20–35 м). Здесь расположены многочисленные каменисто-галечниковые банки, часто – с глубинами менее 5 м. Часть из них выходит на поверхность воды (риф Островной, Вигрунд, Хитоматала и Вестгрунд). В «Зоне 2» в 2013 г. обследованы острова Сескар и Мощный.

Остров Сескар представляет собой участок суши, вытянутый с севера на юг, общей площадью около 4,2 км². Практически весь остров покрыт сосновым и смешанным лесом, и только вдоль побережья имеются необлесенные участки. С восточной стороны острова они представлены, в основном, невысокими дюнами, чередующимися с участками покровных песков. С западной стороны берег сильно пересечен, на нем много валунов и заболоченных луговин. Мелководная зона, примыкающая к острову, протянулась к западу более чем на 3 км.

Остров Мощный, как и о. Сескар, ограничивает центральную глубоководную часть Финского залива и его южную зону, изобилующую многочисленными каменистыми и песчаными банками. Площадь острова – 13,4 км². Остров состоит из двух частей, соединенных песчаным перешейком шириной в 0,3 км. Обе части низкие, сильно изрезаны и поросли хвойным лесом. На юге острова, на расстоянии 1,6 км от берега, находится внутреннее озеро. С юга к острову примыкает цепь и валунных гряд, образующих рифовые островки. С юга и юго-востока от острова имеется большое количество мелководных банок с глубинами около 5 м.

В «Зону 2» включен был также остров Нерва, расположенный в центральной части Финского залива на середине пути между о. Соммерс и архипелагом Березовые острова. Он представляет из себя небольшую безлесную гранитную скалу высотой до 5–7 м, вытянутую в меридиональном направлении

2. Видовой состав и структура сообществ водно-болотных птиц

На исследованной территории в 2010–2013 гг. выявлено присутствие 66 видов водно-болотных (гидрофильных) птиц. Из них 34 вида найдены на гнездовании и миграциях, 3 – только на гнездовании, а 29 – только на миграциях.

Среди зарегистрированных видов отмечено 30 видов ржанкообразных, 26 видов гусеобразных, 3 вида журавлеобразных, 3 вида гагар, 1 вид поганок, 1 вид веслоногих, 1 вид голенастых и 1 вид дневных хищников.

Среди гнездящихся видов 13 являются представителями «балтийского морского комплекса» и встречаются здесь у самой восточной границы своего распространения в регионе. Большой баклан (континентальный подвид), шипун, серый гусь, пеганка, серая утка, чеграва имеют изначально более южное происхождение («средиземноморский комплекс»). Из этих четырех видов только серый гусь гнезвился в регионе уже в XIX в., а остальные появились в течение XX столетия, причем активное расселение большого баклана происходило в последние два десятилетия.

Такие птицы «балтийского морского комплекса», как белошекая казарка, турпан, гага, полярная крачка, гагарка, чистик, тонкоклювая кайра, галстучник – являются арктическими и бореально-гипоарктическими видами. Гнездование большинства из них на побережьях Балтийского и Северного морей рассматривается как сохранение ледниковых реликтовых очагов ареала, в то время как расселение белошей казарки в регионе происходило в течение последних десятилетий. Толчком этому мог послужить непреднамеренный выпуск некоторого количества птиц из зоопарков Швеции и Финляндии.

Основу гнездовых сообществ составляют 2 массовых колониальных вида: рыбадный большой баклан и полифаг, активно осваивающий антропогенные корма, – серебристая чайка. Обычными гнездящимися видами являются бентосоядные – хохлатая чернеть и гага, а также рыбадные – большой и средний крохали, гагарка, чистик, полярная и речная крачки. Из них первые 6 видов являются ныряльщиками, а 2 вида крачек добывают рыбу при пикировании с воздуха. Виды, которым для кормодобывания требуется обширная прибрежная мелководная зона, малочисленны. Это – поверхностные водные собиратели растительных или смешанных кормов (лебедь-шипун, кряква, чирок-свистунок), полусухопутные растительноядные виды (серый гусь и белошекая казарка) и животнойядные виды, собирающие корм вдоль береговой кромки (различные кулики).

3. Пространственное распределение гнездящихся птиц.

Пространственное распределение видов в пределах исследованной части Финского залива весьма неравномерно. Это объясняется большими различиями в характере местообитаний (биотопов). Так, в коридоре пролегания ГТП («Зона 1») на севере восточной части Финского залива доминирует скальный ландшафт с большими глубинами. Полоса мелководий и прибрежной растительности здесь полностью отсутствует. На юге и в центре восточной части залива («Зона 2») доминирует моренный ландшафт с обильными каменисто-галечниковыми банками и широкой полосой мелководий вокруг островов. Обилие небольших островков, рифов и кос у побережья крупных островов благоприятствует развитию богатой мелководной и прибрежной растительности.

Как видно из табл. 1, в «Зоне 2» сообщества птиц отличаются значительно большими численностью и видовым разнообразием (6953 случая размножения 34-х видов), чем в зоне пролегания газопровода (2129 случаев гнездования 25 видов). 23 вида были общими для обеих зон. Только в «Зоне 1» гнездились 3 вида – турпан, гагарка и чистик; только в «Зоне 2» – чернозобая гагара (рис. 3), большая поганка, пеганка, шилохвость, серая утка, широконоскa, черныш, бекaс, вальдшнеп, озерная чайка и чеграва. Именно в «эталонной» зоне сравнения гнездится большинство речных уток, мелких чайковых и куликов.



Рис. 3. Выводок чернозобой гагары *Gavia arctica* у о. Мощный

В обеих зонах основу орнитокомплексов составляет вид-доминант – большой баклан (рис. 4), субдоминантом является серебристая чайка. У таких видов, как белошекая казарка, гага и гагарка заметно более высокая численность наблюдается в зоне пролегания ГТП. У лебедя-шипуна, серого гуся, кряквы, хохлатой чернети, большого и среднего крохалей, кулика-сороки, малого зуйка, травника, перевозчика, речной и полярной крачек наблюдается обратное соотношение.



Рис. 4. Большие бакланы *Phalacrocorax carbo* около колонии на архипелаге Большой Фискарь

Таблица 1

Видовой состав и численность гнездовых сообществ водно-болотных птиц в 2013 г.

Русское название	Латинское название	Зона 1					Зона 2				Всего в обеих зонах
		Портовая	Малый Фискар	Большой Фискар	Соммерс	Всего	о. Нерва	о. Мощный	арх. Сескар	Всего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Чернозобая гагара	<i>Gavia arctica</i>							2		2	2
Большая поганка	<i>Podiceps cristatus</i>							3	2	5	5
Большой баклан	<i>Phalacrocorax carbo</i>			1045		1045		489	4492	4981	6026
Лебедь-шипун	<i>Cygnus olor</i>	1		2		3		8	8	16	19
Серый гусь	<i>Anser anser</i>			2		2	2	4	5	11	13
Белошекая казарка	<i>Branta leucopsis</i>		2	3		5	2			2	7
Пеганка	<i>Tadorna tadorna</i>							1	1?	2?	2?
Кряква	<i>Anas platyrhynchos</i>	2				2		3	6	9	11
Чирок-свистунок	<i>A. crecca</i>	4				4		3	1	4	8
Шилохвость	<i>A. acuta</i>							2?		2?	2?
Серая утка	<i>A. strepera</i>							3	6	9	9
Широконоска	<i>A. clypeata</i>							1	7	8	8
Хохлатая чернеть	<i>Aythya fuligula</i>	8	6	2		16	1	12	23	36	52
Турпан	<i>Melanitta fusca</i>			1		1					1
Большой крохаль	<i>Mergus merganser</i>	2	4	3	2	11	2	4	5	11	22
Средний крохаль	<i>M. serrator</i>	1	6	3	2	12	1	6	7	14	26
Обыкновенная гага	<i>Somateria mollissima</i>		3	84	2	89	2	22	8	32	121
Орлан-белохвост	<i>Haliaetus albicilla</i>	1		1		2		1	1	2	4
Коростель	<i>Crex crex</i>	1				1		2	4	6	7
Кулик-сорока	<i>Haematopus ostralegus</i>			1		1	2	6	4	12	13
Малый зуек	<i>Charadrius dubius</i>	2				2		3	4	7	9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Травник	<i>Tringa totanus</i>	2			4	6		20	11	31	37
Черныш	<i>T. ochropus</i>							3	4	7	7
Перевозчик	<i>Actitis hypoleucos</i>	4				4		11	5	16	20
Бекас	<i>Gallinago gallinago</i>							3	5	8	8
Вальдшнеп	<i>Scolopax rusticola</i>								1	1	1
Сизая чайка	<i>Larus canus</i>	21			4	25		55	24	79	104
Серебристая чайка	<i>L. argentatus</i>		143	583	5	731	130	301	691	1122	1853
Клуша	<i>L. fuscus</i>		11	32		43	5	12	25	42	85
Морская чайка	<i>L. marinus</i>		4	8		12	2	6		8	20
Озерная чайка	<i>L. ridibundus</i>							83	110	193	193
Полярная крачка	<i>Sterna paradisaea</i>	12				12		110	34	144	156
Речная крачка	<i>S. hirundo</i>	36		23		59		56	78	134	193
Чеграва	<i>Hydroprogne caspia</i>							1?	1?	2?	2?
Гагарка	<i>Alca torda</i>		4	27		31	1			1	32
Чистик	<i>Cephus grulle</i>		1	9		10					10
Всего		97	184	1829	19	2129	150	1232	5571	6953	9082

Таким образом, в более глубоководной зоне пролегания ГТП на гнездовании более многочисленны глубоководные ныряльщики, а в зоне сравнения (за исключением о. Нерва) – виды, кормящиеся на мелководье и у уреза воды на суше. Виды, способные к дальним кормовым перемещениям, равномерно распределены в обеих зонах.

В пределах зоны пролегания ГТП наиболее бедно населено побережье о. Гогланд, где отмечаются только единичные пары гнездящихся сизых чаек, малых зуйков и перевозчиков. Это связано с отсутствием литоральной зоны и прибрежной растительности, а также с наличием наземных хищников. Чрезвычайно бедным в отношении населения птиц оказался также о. Соммерс. Это может быть обусловлено как географическими факторами (большой удаленностью от побережья, отсутствием вокруг острова зоны мелководий), так и историей острова, на котором долгое время существовали пограничная застава и маячная служба («фактор беспокойства»). Бедность птичьего населения этого острова в настоящее время не нашла точного объяснения. Этот вопрос требует дальнейшей проработки, поскольку находящийся в зоне сравнения несколько меньший остров Нерва с аналогичными биотопами и также сильно удаленный от побережья имеет многочисленное и разнообразное население птиц.

Максимальная зарегистрированная численность и видовое разнообразие наблюдались у наиболее крупного, удаленного на 12 км от берега архипелага Большой Фискарь, уменьшение численности и видового разнообразия шло по мере приближения к береговой линии (Малый Фискарь – бухта Портовая).

На островах в зоне сравнения наблюдалась сходная картина: население побережья самых крупных лесных островов, сходных с материком (о. Мощный, о. Сескар), было сильно обеднено; разнообразие и численность птиц многократно возрастали на архипелагах маленьких островков по мере удаления от материкового побережья. Подобная закономерность в обеих зонах связана со степенью доступности гнездовых биотопов для наземных хищников, живущих как на материке, так и на наиболее крупных лесных островах.

Совершенно очевидно, что большее видовое разнообразие и численность водно-болотных птиц в зоне сравнения связано с максимальным разнообразием береговых биотопов и сильной развитостью мелководной зоны вокруг островов.

4. Основные особенности многолетней динамики численности.

Сравнивая данные 2010–2013 гг. с данными 1990-х гг. (Носков и др. 1993; Гагинская, 1995; Гагинская и др., 1997; Иовченко и др., 2004), можно отметить постоянное снижение в районе исследований численности серебристой чайки, которое идет синхронно во всех зонах восточной части Финского залива. Только на о. Малый Фискарь и архипелаге Большой Фискарь число ее гнезд упало с 1200–1400 пар в 2005–2006 гг. до 700–800 пар в настоящее время. Это связывается с изменением режима промышленного рыболовства и рыбообработки в регионе – уменьшением количества малых рыбообрабатывающих предприятий и, соответственно, свалок их отходов в прибрежной зоне. Отчасти этим факторами объясняется также современное снижение численности клуши, которое началось гораздо раньше, с 1970-х гг., и изначально было связано с ростом конкуренции с серебристой чайкой в период роста популяций последней. Стабильная численность с небольшими межсезонными флуктуациями отмечается у краквы, чирка-свистунка, хохлатой чернети, большого крохале, турпана, малого зуйка, перевозчика, травника, морской чайки, полярной и речной крачек, а также у появившихся здесь на гнездовании в начале 1990-х гг. лебедя-шипуна, серого гуся и белошейной казарки. Некоторое увеличение численности в последние годы отмечено у гаги и гагарки (рис. 5).

Наиболее заметный рост наблюдался в последние 20 лет у большого баклана, гнездование которого было впервые установлено в начале 1990-х гг. На всей акватории восточной части Финского залива в течение всех последующих лет отмечался постоянный рост его численности, которая к 2013 г. достигла 8200 пар. В то же время, на островах в северном секторе восточной части залива после достижения максимума в 2005–2006 гг. началось снижение количества гнезд баклана. На арх. Большой Фискарь оно снизилось с 1400 до 900–1000 гнезд. Еще более значимое многократное падение численности за эти годы наблюдалось на о. Долгий Риф, расположенном в 12 км к северо-западу от арх. Большой

Фискарь – с 1588 до 241 гнезда. Это можно объяснить двумя гипотезами: 1) протеканием естественных демографических процессов «старения колоний», когда молодые «мобильные» птицы расселяются по новым колониям», а старые птицы – «резиденты» постепенно погибают; 2) ухудшением кормовых условий в северном секторе восточной части Финского залива в результате прокладки и функционирования ГТТ «Нордстрим».



Рис. 5. Гагарки *Alca torda* у архипелага Большой Фискарь

5. Линочные скопления

Наиболее массовым видом, использующим исследуемый район для летней линьки, является гоголь – в конце июля до 1430 линяющих селезней отмечено у о. Мощный. Вторым по численности линяющим видом является большой крохаль - группы из 30-50 селезней этого вида держались около каждого из исследованных островов. Наиболее крупные скопления больших крохалей отмечены у островов Соммерс (300 птиц) и Мощный (120 птиц) (рис. 6).



Рис. 6. Линочное скопление больших крохалей *Mergus merganser* у о. Соммерс

В группах больших крохалей и гоголей проводят линьку отдельные средние крохали. Группы из 4–6 линяющих шипунов отмечены у островов Б. Фискара и Мощный. До 200–250 лебедей линяет на каменистых банках у о. Сескар. Группы из 10–12 линяющих серых гусей отмечены у островов Б. Фискара и Нерва.

В последние годы удалось выявить небольшие линочные скопления некоторых арктических видов, о линьке которых в данном районе ранее не было известно. Так, у островов Б. Фискара и Нерва 28–29 июля 2013 г. наблюдались группы из 8 и 11 линяющих белошеких казарок. У о. Б. Фискара в это время отмечена группа из 30 линяющих селезней морянки и 5 турпанов. Стайки из 3–5 линяющих самок гаги встречены у Большого Фискара и Нервы. У острова Мощный держалось до 30 линяющих гаг.

Данные 2013 г. показали, что основные линники речных уток, хохлатых чернетей и гоголей находятся вне трассы ГТП, в южном секторе восточной части Финского залива.

6. Основные особенности миграций водно-болотных птиц.

Наиболее полную картину миграций удалось пронаблюдать в 2013 г., когда за весь период наблюдений отмечено 106 787 особей 62 видов (табл. 2). Доминирование принадлежало белошекой казарке (22,09 % всех встреч, $n = 10\,6787$) (рис. 7).



Рис. 7. Стая белошеких казарок *Branta leucopsis* 22 мая у о. Мощный

Группа видов-субдоминантов (на каждого из которых приходилось 9–15% всех встреч) состояла из большого баклана, гоголя, синьги и морянки. Кроме чаек, в группу обычных и многочисленных видов вошли кряква, свиязь, чирок-свистунок, хохлатая и морская чернеть.

Таблица 2

Численность мигрантов во время маршрутных учетов в мае, июле, сентябре и октябре 2013 г.

		Весна	Лето			Осень					Всего за сезон	
			20-24.05	Маршрут		Всего	Маршрут					Всего
				20-22.07	28-30.07		17-18.09	26-27.09	01.04.2010	10-14.10		
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Большой баклан	Phalacrocorax carbo	204	250	8800	9050	450	224	210	104	988	10242	
Чернозобая гагара	Gavia arctica	102		25	25	5	9	47	423	484	611	
Краснозобая гагара	G. stellata	32						14	75	89	121	
Белоклювая гагара	G. adamsi	3									3	
Большая поганка	Podiceps cristatus	29	11	34	45	51	11	12	11	85	159	
Серая цапля	Ardea cinerea			3	3				1	1	4	
Лебедь-кликун	Cygnus cygnus	8		4	4		20	14	22	56	68	
Тундровый лебедь	C. bewickii	10						5		5	15	
Лебедь-шипун	C. olor	8		26	26	2	63	9	8	82	116	
Серый гусь	Anser anser	26		22	22		5			5	53	
Гуменник	A. fabalis	20					25			25	45	
Белолобый гусь	A. albifrons	1250						1400		1400	2650	
Белошекая казарка	Branta leucopsis	22770		45	45				780	780	23595	
Черная казарка	B. bernicla	840									840	
Пеганка	Tadorna tadorna	4	2		2						6	
Кряква	Anas platyrhynchos	45	23	68	91	310	2150	680	79	3219	3355	
Свиязь	A. penelope	73	56	190	246	400	4870	760	45	6075	6394	
Шилохвость	A. acuta	12		5	5	21	30	12		63	80	
Серая утка	A. strepera	109	47	109	156	34	43			77	342	
Широконоска	A. clypeata	12	12	34	46	79	36	14		129	187	
Чирок-свистунок	A. crecca	25	24	87	111	480	2560			3040	3176	
Чирок-трескунок	A. querquedula	4									4	
Хохлатая чернеть	Aythya fuligula	375	124	215	339	530	1670	1120	210	3530	4244	

Продолжение табл. 2

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Морская чернеть	<i>Aythya marila</i>	900	3	25	28			23	120	143	1071
Гоголь	<i>Bucephala clangula</i>	3100		1430	1430	1200	3100	7100	440	11840	15370
Большой крохаль	<i>Mergus merganser</i>	89	65	530	595	120	180	210	11	521	1165
Средний крохаль	<i>M. serrator</i>	137	34	154	188	11	6		48	65	390
Луток	<i>M. albellus</i>	9									
Морянка	<i>Gangula hyemalis</i>	2450	18	185	203			340	7400	7740	10393
Синьга	<i>Melanitta nigra</i>	10330	470	650	1120				730	730	12180
Турпан	<i>M. fusca</i>	795	8	8	16				1300	1300	2111
Гага	<i>Somateria mollissima</i>	218		65	65		11	23	3	37	320
Лысуха	<i>Fulica atra</i>	12				45	360			405	417
Орлан-белохвост	<i>Heliaetus albicilla</i>					2	2	6	2	12	12
Серебристая чайка	<i>Larus argentatus</i>	132	370	1950	2320	150	190	210	170	720	3172
Морская чайка	<i>L. fuscus</i>	12	8	17	25	12	4	5	11	32	69
Клуша	<i>L. marinus</i>	32	37	156	193	34	16	21	36	107	332
Сизая чайка	<i>L. canus</i>	60	650	2150	2800	250	310	570	410	1540	4400
Озерная чайка	<i>L. ridibundus</i>	72	840	590	1430	530	610	360	260	1760	3262
Малая чайка	<i>L. minutus</i>		21	34	55						55
Речная крачка	<i>Sterna hirundo</i>	115	580	730	1310	220	130	67		417	1842
Полярная крачка	<i>S. paradisaea</i>	133	420	410	830	45	15	11		71	1034
Малая крачка	<i>S. albifrons</i>	13	27	45	72						85
Чеграва	<i>Hydroprogne caspia</i>	4		4	4						8
Галстучник	<i>Charadrius hiaticula</i>			14	14	4				4	18
Малый зуек	<i>Ch. dubius</i>					2				2	2
Золотистая ржанка	<i>Pluvialis apricarius</i>						4			4	4
Тулес	<i>Squatarola squatarola</i>	21								0	21
Бекас	<i>Gallinago gallinago</i>					2	3	1	2	8	8
Большой кроншнеп	<i>Numenius arquata</i>			16	16						16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Средний кроншнеп	N. phaeopus		8	8						8
Большой улит	Tringa nebularia	3	14	17	5				5	22
Черныш	T. ochropus	12								12
Фифи	T. glareola	28	21	45	66					94
Травник	T. totanus	29		18	18					47
Перевозчик	Actitis hypoleucos	11	11	14	25	2			2	38
Турухтан	Philomachus pugnax		5	5	2	5	1		8	13
Чернозобик	Calidris alpina L.		5		5	11	5		16	21
Песчанка	C. alba					3			3	3
Кулик- сорока	Haematopus ostralegus	16	7	7						23
Чистик	Cephus grulle	65	124	124			3		3	192
Гагарка	Alca torda	80	2	126	128	1	3	14	1	19
Всего		44836	4143	18153	22296	4244	16317	6392	12702	39655

Птицы, для стоянок которых требуется обширная зона мелководий и отмелей (лебеди, гуси, речные утки, чернети, гоголя, крохали и кулики), пролетали преимущественно через южный сектор восточной части Финского залива в районе островов Сескар и Мощный, следуя в восточном направлении весной и в западном и юго-западном – осенью. Наиболее крупные их стоянки общей численностью до 8–10 тыс. особей наблюдались у островов Сескар и Мощный. В северном секторе восточной части Финского залива стоянки речных уток и чернетей численностью до 200–500 птиц наблюдались весной в бухте Портовой, а осенью – только у островов Малый и Большой Фискар.

Миграции арктических видов гагар, казарок и морских нырковых уток в весеннее время шли по двум основным маршрутам: (1) из Нарвского залива и Лужской губы через о. Мощный – к Выборгскому заливу; (2) вдоль северного побережья из Финских шхер – в сторону Выборгского залива. Наиболее крупные стоянки морских нырковых уток и гагар также наблюдались в южном секторе на открытых банках у островов Мощный, Сескар и в Лужской губе. Крупные кратковременные стоянки белошеких казарок отмечены на о. Мощный.

В осеннее время у этих видов основной пролет идет по вышеуказанным руслам в обратном направлении, но, кроме того, отмечен еще и пролет в меридиональном направлении из Финских шхер – в сторону о. Мощный и банки Вигрунд, а также в сторону островов Гогланд и Большой Фискар.

Летние миграции на линьку в районе исследований наблюдались у речных уток, чернетей, гоголей и синьги. У всех этих видов транзитный пролет шел в основном через южный сектор восточной части Финского залива, где и наблюдались их основные стоянки.

Данные 2013 г. подтверждают предварительные выводы и предположения о достаточно важной роли отдельных участков трассы ГТП в системе миграций птиц в восточной части Финского залива. Эти участки используются птицами главным образом для транзитного пролета. В отличие от южного сектора Финского залива, стоянки всех групп мигрантов здесь крайне малочисленны и отмечаются преимущественно в осеннее время. Трассу ГТП транзитные мигранты пересекают весной преимущественно в 10–15-километровой полосе вдоль северного берега, по направлению на восток из Финских шхер к Выборгскому заливу. При этом основной поток мигрантов в Финском заливе весной проходит гораздо южнее – через о. Мощный к о. Нерва и Выборгскому заливу или вдоль южного побережья к Невской губе. Осенью, кроме движения от Выборгского залива к Финским шхерам, трассу газопровода пересекает еще один поток мигрантов, идущий в меридиональном направлении из Финских шхер в сторону островов Мощный и Большой Тюттерс. В целом по данным 2013 г. в районе трассы газопровода доминировали те же группы мигрантов, что и в 2010–2012 гг. (см. Шилин и др., 2013), то есть общая картина миграции после начала эксплуатации газопровода осталась неизменной.

7. Редкие и уязвимые виды орнитофауны.

К особо охраняемым уязвимым видам орнитофауны исследованного района, занесенным в Красные книги различных уровней, из числа зарегистрированных в 2013 г. относится 30 видов, из них 8 видов в предыдущие сезоны не отмечалось – краснозобая гагара, пеганка, луток, кулик-сорока, галстучник, золотистая ржанка, малая крачка и чеграва. Особо следует отметить выявленное гнездование трех новых редких видов: орлана-белохвоста, коростеля и кулика-сороки. Показателем экологической стабильности является присутствие в составе орнитоценозов консумента высокого трофического уровня – орлана белохвоста *Haliaeetus albicilla* (рис. 8).



Рис. 8. Орлан-белохвост *Haliaeetus albicilla* на о. Большой Фискаар

Это крупный дневной хищник, питающийся рыбой, водоплавающими птицами (в частности, бакланами) и падалью, которую находит на побережьях

крупных водоемов. В последние годы в связи с улучшением мер охраны наблюдается тенденция к постепенному росту численности орлана. В районе исследований территориальные пары отмечены на архипелагах Большой Фискарь, Долгий Камень, Сескар, у островов Мощный и Большой Тюттерс. В период миграций отдельные особи встречены также у Северного Березового острова и у банки Халикарти.

Заключение

Сообщества водно-болотных птиц исследованного района характеризуются высоким уровнем биологического разнообразия, а также значительной динамикой, что проявилось в появлении и росте численности в последние десятилетия семи новых для региона видов, а также в многолетнем снижении численности традиционного доминанта – серебристой чайки. Для большинства других птиц отмечаются кратковременные флуктуации численности, вызванные погодными условиями сезона и не связанные со строительством и началом эксплуатации ГТП «Нордстрим». Обращает на себя внимание падение численности гнезд больших бакланов в колониях в районе пролегания ГТП при значительном росте численности этого вида в других частях Финского залива (Gaginskaya et al., 2013). Одним из объяснений может быть ухудшение кормовых условий для этого вида в данном районе в результате воздействия ГТП на популяции придонных рыб.

Явные негативные последствия строительства ГТП в настоящее время крайне незначительны и выражены в локальной деструкции береговых и мелководных биотопов, что вызвало исчезновение гнездящихся птиц и отдыхающих мигрантов в месте входа газопровода в воду в вершине бухты Портовой. Можно предполагать также временный негативный эффект на кормовую базу отдыхающих пролетных нырковых уток и временное снижение численности их стоянок в мелководной зоне в горле бухты и на прилегающей акватории. На остальных участках трассы ГТП влияние его на мигрирующих птиц не наблюдается. В ближайшем будущем возможны проявления негативных эффектов на побережье бухты Портовой и на акватории, прилегающей к о. Малый Фискарь, от роста рекреационной нагрузки со стороны отдыхающих работников компрессорного комплекса «Нордстрим». В связи с этим необходима скорейшая организация Ингерманландского государственного природного заповедника и введение возможно более жесткого ограничения на посещение отдыхающими мест стоянок и гнездования птиц в бухте Портовой.

Выводы

1. Показатели состояния гидрофильной орнитофауны (общая численность, видовой состав и разнообразие, количество гнездящихся пар и выводков, уязвимость, наличие консументов высоких трофических уровней) в зоне расположения трассы ГТП «Нордстрим» в настоящее время находятся в рамках фоновых параметров, не выходя за пределы естественных флуктуаций, что соответствует стабильному состоянию местного орнитоценоза.

2. Среди гнездящихся птиц в 2013 г. отмечено появление 3-х новых редких в регионе видов – орлана-белохвоста, коростеля и кулика-сороки. Отмечена также более высокая, чем в предыдущем году, численность гнездящихся гаг, что может быть связано с минимизацией «фактора беспокойства» в связи с окончанием периода прокладки и началом эксплуатации газопровода.

3. По данным 2013 г. не выявлено фактов, указывающих на какое-то негативное влияние газопровода на местные орнитокомплексы на стадии его эксплуатации. Редкие, особо уязвимые и охраняемые виды орнитофауны воздействием ГТП «Нордстрим» не затронуты. Фактор беспокойства проявляется на континентальном участке северного побережья восточной части Финского залива в районе бухты Портовой.

4. Необходимо продолжение мониторинговых и исследовательских работ как в зоне непосредственного прохождения ГТП «Нордстрим», так и в прилегающей к ней зоне сравнения для определения условий экологической безопасности существования орнитологических комплексов в условиях функционирования крупных линейных техносферных объектов. Данные 2013 г. могут послужить основой банка данных для прогнозирования изменений в сообществах гнездящихся и мигрирующих водно-болотных (гидрофильных) птиц восточной части Финского залива

Литература

- Гагинская А. Большой баклан *Plalacrocorax carbo* – гнездящийся вид в Ленинградской области // Рус. орнитол. журн., т. 4, 1995, (3/4), с. 93-96.
- Гагинская А., Носков Г., Резвый С. О находке гнезда белошекой казарки на Финском заливе // Бюлл. рабочей группы по гусям и лебедям Восточной Европы и Северной Азии. – М., 1997, 3: с. 111-112.
- Иовченко Н.П., Гагинская А.Р., Носков Г.А., Резвый С.П. Результаты орнитологического обследования островов Финского залива в 1994–1995 годах. // Птицы и млекопитающие Северо-Запада России. Труды Биол. НИИ, вып. 48. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2004, с. 100-120.
- Носков Г.А., Фёдоров В.А., Гагинская А.Р., Сагитов Р.А., Бузун В.А. Об орнитофауне островов восточной части Финского залива // Рус. орнитол. журн. 1993, 2, 2, с. 163-173.
- Шилин М.Б., Чусов А.Н., Брэй Р.Н., Леднова Ю.А. Техносферная безопасность подводных горно-технических работ. – СПб.: изд-во СПб ГПУ, 2012. – 278 с.
- Шилин М.Б., Лебедева О.В., Коузов С.А., Башкина Г.И. Состояние орнитофауны на трассе «Северного Потока»: проявляется ли воздействие морского газопровода? // Гидротехника, 2013, № 1 (30), с. 4- 8.
- Gaginskaya, A. R., Starikov, D.A., Kouzov, S.A., 2013: Status of the breeding population of Great Cormorants in the Russian part of the Gulf of Finland in 2012. – In: Bregnballe, T., Lynch, J., Parz-Gollner, R., Marion, L., Volponi, S., Paquet, J-Y. & van Eerden, M.R. (eds.) 2013. National reports from the 2012 breeding census of Great Cormorants *Phalacrocorax carbo* in parts of the Western Palearctic // IUCN-Wetlands International Cormorant Research Group Report. Technical Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy, Aarhus University. No. 22: 82-85. <http://dce2.au.dk/pub/TR22.pdf> .

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.2 федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (проект № 14.512.11.0113 от 10.10.2013 г.).

П.Н. Священников, Б.В. Иванов, И.А. Говорина

**ВЛИЯНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ОКРЕСТНОСТИ ПОС. БАРЕНЦБУРГ
(АРХ. ШПИЦБЕРГЕН) НА РАДИАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА
СНЕЖНО-ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА И АТМОСФЕРЫ**

P.N. Sviashchennikov, B.V. Ivanov, I.A. Govorina

**IMPACT OF ENVIRONMENTAL POLLUTION NEAR
THE SETTLEMENT OF BARENTSBURG
(SPITSBERGEN ARCHIPELAGO) ON THE RADIATION
PROPERTIES OF SNOW-AND-ICE COVER AND ATMOSPHERE**

Представлены результаты полевых исследований, демонстрирующие влияние антропогенного загрязнения снежно-ледяного покрова и приземного слоя воздуха. Описываются методики экспериментов, обсуждаются предварительные результаты, показывающие взаимосвязь «альбедо-загрязнение» и уровень аэрозольного ослабления в приземном слое воздуха.

Ключевые слова: Шпицберген, снежный покров, атмосфера, антропогенное загрязнение.

Results of field studies are presented which demonstrate the impact of anthropogenic pollution of snow-and-ice cover and near the ground layer of air. Experiment methodologies are described, preliminary results are discussed which demonstrate the interrelation of "albedo-pollution" and the level of aerosol attenuation in the near the ground layer of air.

Key words: Spitsbergen, snow cover, atmosphere, anthropogenic pollution.

Климатическая система в полярных областях является наиболее чувствительной к внешним воздействиям, в том числе и антропогенным. В настоящее время российскими и зарубежными специалистами-климатологами активно обсуждается проблема современного глобального потепления и возможных причин этого явления. Основной причиной современного потепления, по мнению большинства ученых, является постоянно увеличивающаяся, вследствие сжигания углеводородного топлива, концентрация углекислого газа в атмосфере. Повышенные содержания антропогенных аэрозолей в окрестности крупных промышленных объектов приводит к прямому воздействию на радиационный баланс подстилающей поверхности [1]. Антропогенное воздействие на климатическую систему, связанное с добычей и сжиганием каменного угля, оказывает существенное влияние на величины потоков коротковолновой и длинноволновой радиации и, тем самым, приводит к значительным климатическим изменениям, проявляющимся как в непосредственной близости от источника выбросов, так и на значительных расстояниях. Арктические регионы наиболее чувствительны к этим процессам. Одним из примеров подобного воздействия может служить Российский шахтерский поселок Баренцбург, расположенный на архипелаге Шпицберген (остров Западный Шпицберген). Угледобывающая деятельность была организована здесь в 1931 г. и с перерывом, связанным со Вто-

рой мировой войной, продолжается там и в настоящее время. В результате хозяйственной деятельности в атмосферу поступает большое количество аэрозолей в виде сажи, при работе тепловой электростанции (ТЭЦ), и частиц угля, выдуваемых с угольного склада (открытый тип хранения) и отвалов породы, расположенных в непосредственной близости от поселка. Впоследствии эти аэрозоли оседают на поверхность снега, в результате чего вглубь снежного покрова попадает значительное количество углеродных частиц. Происходит уменьшение прозрачности атмосферы, уменьшение альбедо подстилающей поверхности, изменение потока проникающей вглубь снега солнечной радиации. Таким образом, радиационный баланс подстилающей поверхности существенным образом изменяется из-за антропогенного воздействия.

Для оценки антропогенного влияния углеродного загрязнения сотрудниками Арктического и антарктического научно-исследовательского института и Санкт-Петербургского государственного университета (кафедры климатологии и мониторинга окружающей среды) с 2007 по 2012 г. проводились специальные натурные исследования непосредственно в поселке Баренцбург и его окрестностях.

Аэрозольное ослабление приходящей коротковолновой радиации исследовалось путем организации одновременных (синхронных) измерений потоков прямой солнечной радиации. Один пункт наблюдений располагался в самом поселке Баренцбург, в непосредственной близости от ТЭЦ. Второй был организован в месте, не подверженном влиянию выбросов аэрозолей (мыс Финесет, 1,5 км к югу от поселка). Синхронные измерения проводились с помощью стандартных сетевых актинометров АТ-50 Янишевского-Савинова в спектральном диапазоне 0,3–3,0 мкм (дискретность измерений 60 секунд). Регистрация сигналов осуществлялась с помощью однотипных портативных мультиметров Escort EDM-1341 (Германия), с разрешением в 0,01 мВ. Наблюдения производились в соответствии с методическими указаниями по проведению актинометрических наблюдений [3].

Актинометрические наблюдения, выполненные в апреле 2011 г. в поселке Баренцбург и его окрестностях позволили провести расчёты аэрозольного ослабления солнечной радиации в атмосфере. Синхронное измерение потока прямой солнечной радиации с помощью актинометров АТ-50 проводились таким образом, чтобы один из актинометров принимал сигнал через «чистую» атмосферу (район мыса Финесет), а второй находился на метеорологической площадке ГМО «Баренцбург» под аэрозольным облаком (территория поселка вблизи ТЭЦ). Первичные измерения осреднялись за 10-минутные интервалы и по осредненным значениям вычислялись коэффициенты прозрачности. Интегральные коэффициенты прозрачности атмосферы были рассчитаны по формуле Бугера-Ламберта:

$$p = \sqrt[m]{S/S_0}, \quad (1)$$

где p – коэффициент прозрачности; S_0 – значение солнечной постоянной, равное 1361 Вт/м^2 ; S – величина потока прямой радиации, измеренная актинометром, m – масса атмосферы.

При расчетах учитывались колебания значений солнечной постоянной в течение года, масса атмосферы и высота солнца во время измерений [2]. Для условий эксперимента масса атмосферы была близка к значению $m = 2$. Результаты расчетов представлены на рис.1.



Рис. 1. Значения осредненных за 10 мин интегральных коэффициентов прозрачности атмосферы

Изменение во времени величин коэффициентов прозрачности соответствует различным условиям эксперимента. В начале измерения проводились при одинаковых условиях прозрачности, во второй части наблюдений аэрозольное облако (выбросы ТЭЦ) ослабляло солнечную радиацию, измеряемую в поселке, в то время как наблюдения на мысе Финнесет соответствовали прежним условиям «чистой» атмосферы. Осредненные по времени интегральные коэффициенты прозрачности составили 0,740–0,750 при аэрозольном загрязнении и 0,765–0,760 без него. Общее ослабление аэрозолем составило $21,5 \text{ Вт/м}^2$. По сравнению с аналогичными измерениями, выполненными в это же время в 2010 г., аэрозольное ослабление уменьшилось приблизительно в 4 раза. Зафиксированное уменьшение аэрозольного ослабления, очевидно, связано с установкой на ТЭЦ летом 2010 г. новых фильтров и систем дожиг топлива.

Аналогичные результаты были получены и при анализе уровня загрязнения проб морского льда, взятых на припае залива Грен-фьорд. Отбор образцов льда для последующего определения концентрации загрязняющих частиц производился кольцевым буром диаметром 20 см. Образцы (пробы) льда подготавливались непосредственно на льду после проведения измерений температуры льда. Ледяной керн помещался на специальный разделочный столик. На нем с использованием ручной ножовки из нержавеющей стали готовились образцы длиной порядка 10 см. При этом боковые поверхности керна, испытывающие при вынимании из лунки наибольший контакт с морской водой, предварительно срезались для получения репрезентативных оценок концентрации частиц (ми-

нимизация эффекта вымывания частиц из образца льда). Далее образцы помещались в герметичные пластиковые пакеты и доставлялись в ГМО «Баренцбург» для дальнейшего лабораторного анализа. Для определения концентрации взвешенных частиц в расплавленных образцах льда (пробы воды) использовались стандартные синтетические фильтры диаметром 42 мм и калиброванными отверстиями диаметром 0,45 мкм. Предварительная подготовка фильтров и последующая обработка фильтров с образцами взвеси (сушка, взвешивание) проводилась в Российско-Германской лаборатории им. О.Ю. Шмидта (ААНИИ). Использовалась стандартная муфельная печь и прецизионные электронные весы фирмы LA230S-0CE “Sartorius” (Германия), которые позволяют взвешивать фильтры с точностью $\pm 0,01$ мг. Фильтрация проб воды осуществлялась в химической лаборатории ГМО «Баренцбург» на стандартной фильтровальной установке. Для определения объема профильтрованной пробы использовалась мерная колба объемом 500 мл с ценой деления шкалы 25 мл. Фильтры с взвесью помещались в чашки Петри для транспортировки в ААНИИ.

Для исследования особенностей антропогенного загрязнения припайного льда пробы отбирались в разных частях залива Грен-фьорд. Основные источники антропогенного загрязнения припайного льда, как и в случае с загрязнением атмосферы, – это аэрозольные выбросы ТЭЦ, угольные отвалы, расположенные в районе мыса Финесет, а также угольные склады открытого хранения на территории поселка. Основной источник, безусловно, ТЭЦ. С учетом преобладающей розы ветров, особенностей стратификации в пограничном слое атмосферы, гранулометрического состава аэрозоля частицы, в основном, оседают на поверхности припая к югу от поселка. Аэрозольные частицы, попадая внутрь льда и на его поверхность, изменяют его альбедо, являются очагами внутрислойного таяния, что способствует ускоренному таянию ледяного покрова на акватории фьорда. При динамическом взломе припая (приливы, зыбь) частицы, находящиеся во льду, могут быть вынесены в соседние с Грен-фьордом акватории (залив Айс-фьорд, пролив Фрама). Минимальные концентрации частиц были зафиксированы в южной части фьорда 2,9 мг/л, максимальные на припае в районе поселка – 6,1 мг/л. Это, так называемые, средневзвешенные оценки по всей толщине льда, которая изменялась от 85 до 65 см, соответственно. Несмотря на то что метод фильтрации расплавленных образцов льда (водяных проб) позволяет определить «общую» концентрацию взвешенных частиц в пробе (минерального и биологического происхождения), в нашем случае это именно аэрозольные частицы антропогенного происхождения, поскольку характерное для Арктики весеннее цветение водорослей в этот период (апрель) еще не наступило. Обращают на себя внимание и относительно невысокие максимальные значения концентрации по сравнению с оценками, полученными в 2009 и 2010 гг. Так, максимальные величины в 2010 г. достигали 30 мг/л, а в 2009 г. 60 мг/л. В апреле 2011 г. максимальные концентрации в отдельных слоях не превысили 8 мг/л. Полученные результаты обусловлены не только совершенствованием производ-

ственной деятельности на предприятиях треста «Арктик-Уголь» (новые фильтры и т.д.), но и рекультивацией угольных отвалов.

Измерения отражательной способности снежного покрова в условиях его загрязнения проводились с помощью стандартного пиранометров М-80 в диапазоне длин волн 0,3–3,0 мкм и пиранометрами LI-190SA и LI-192SA (США) в области видимых длин волн (0,3–0,7 мкм). Регистрация сигналов с датчиков осуществлялась многоканальным программируемым data-logger LICER-1400 (США).

Как показали результаты измерений, альbedo снежного покрова изменяется в широких пределах в зависимости от степени загрязненности поверхности. Данные, представленные в табл. 1, содержат осредненные по четырем градациям средние значения альbedo для диапазона 0,3–0,7 мкм. Отмечается уменьшение более чем в два раза величины альbedo свежеснегавшего снега по сравнению с альbedo сильно загрязненного снежного покрова. В результате загрязнения увеличивается доля поглощенной снежной поверхностью солнечной радиации, что, соответственно, ускоряет процесс таяния снежного покрова.

Таблица 1

Результаты измерений альbedo в видимом диапазоне спектра над различными по степени загрязненности участками поверхности

Характеристика поверхности	Среднее значение альbedo, %
Свежеснегавший снег	83
Слабо загрязненная поверхность	80
Умеренно загрязненная поверхность	64
Сильно загрязненная поверхность	41

Сравнение величин альbedo снежного покрова в поселке Баренцбург, где ведется угледобывающая деятельность, с аналогичными величинами, характерными для норвежского поселка Нью-Алесун, где осуществляются только научные исследования и аэрозольные выбросы сведены к минимуму, показало, что в среднем альbedo снега в диапазоне 0,3–3,0 мкм в Баренцбурге на 15–20 % меньше, чем в Нью-Алесуне. Результаты сравнения отражены на рис. 2.

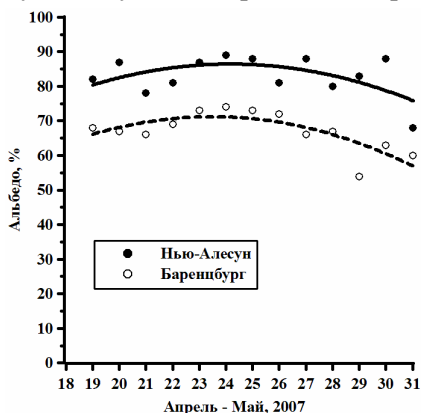


Рис. 2. Альbedo снега в поселках Баренцбург и Нью-Алесун в апреле 2007 г.

Исследование влияния загрязнения на проникающую вглубь снежного покрова солнечную радиацию включали в себя синхронные измерения приходящей, отраженной и проникающей радиации в видимом диапазоне длин волн. Измерения проникающей радиации проводились на глубине 5 см. В каждой точке наблюдений отбиралась проба снега из поверхностного 5-сантиметрового слоя для последующей фильтрации расплавленных образцов (проб воды) и определения уровня загрязнения (методика приведена выше). Актинометрические наблюдения проводились в различных местах поселка Баренцбург, которые отличались по степени загрязнения снега. Максимальное количество загрязняющих веществ было зафиксировано в районе склада открытого хранения угля, которое составило 1,93 г/л, минимальные значения загрязнения снега в поселке составили величину порядка 0,1 г/л.

Синхронные измерения приходящей, отраженной и проникающей солнечной радиации в видимом диапазоне позволили оценить величину ослабления радиации в верхнем пятисантиметровом слое с учетом количества загрязняющих частиц. Ослабление в верхнем 5-сантиметровом слое снега изменяется в широких пределах от 50 до 100 %. В интервале загрязнения от 0,12 г/л до 0,73 г/л не удалось четко выявить эффект увеличения ослабления проникающей радиации за счет поглощения углеродосодержащими частицами. Продолжение подобных натурных наблюдений и накопление новых данных позволит оценить зависимость.

Проведенные исследования радиационных свойств атмосферы, снежного и ледяного покровов показывают существенное влияние на радиационный баланс поверхности аэрозольных компонентов, попадающих в атмосферу и снежно-ледяной покров в результате добычи и сжигания угля. Подобное воздействие, безусловно, приводит к уменьшению фотосинтетической активной радиации, недостаток которой сказывается на здоровье жителей поселка. Установка на ТЭЦ современной системы дожигания топлива и новых фильтров заметно улучшила экологическую обстановку в поселке Баренцбург.

Литература

1. Хорева Е.И., Мостаманди С.В., Ронту Л., Бакланов А.А. Прямые аэрозольные эффекты в одномерной версии региональной метеорологической модели HIRLAM // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 114-122.
2. Радиационные характеристики атмосферы и земной поверхности / Под ред. К.Я. Кондратьева. – Л.: Гидрометеониздат, 1969. – 564 с.
3. Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям. – Л.: Гидрометеониздат, 1971. – 218 с.
4. <http://las.colorado.edu/>

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12-05-00780_а, а также в рамках двухстороннего сотрудничества с Норвежским Полярным институтом (проект ARCDIV).

*В.А. Кузьмин, Д.В. Соколова, А.А. Полякова, Ю.В. Принцевская,
С.В. Еремина, И.С. Гаврилов, М.В. Симановская*

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ
ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВЕ ОЦЕНИВАНИЯ
ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
ПОТЕНЦИАЛА РЕК И ИХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ
УЯЗВИМОСТИ**

*V.A. Kuzmin, D.V. Sokolova, A.A. Polyakova, Y.V. Printsevskaya,
S.V. Eremina, I.S. Gavrilov, M.V. Simanovskaya*

**OPTIMIZATION OF HYDROPOWER FACILITIES ALLOCATION
BASED ON ASSESSMENT OF RIVERS THEORETICAL
HYDROPOWER POTENTIAL
AND THEIR HYDROMETEOROLOGICAL VULNERABILITY**

В статье предложен новый способ оптимизации размещения объектов гидроэнергетики на основе оценивания теоретического и технического гидроэнергетического потенциала рек, а также возможной гидрометеорологической уязвимости этих объектов в условиях изменения климата и переменной антропогенной нагрузки на речные водосборы. Используемая двухкомпонентная целевая функция, определяемая методом Парето, является «экономической», однако при наличии практической заинтересованности со стороны пользователя она также может учитывать социальные факторы.

Ключевые слова: гидроэлектростанция, гидроэнергетика, гидроэнергетический потенциал, гидрометеорологическая уязвимость, гидрологические риски, оптимизация, оценивание.

In this paper, a new method is proposed, which is aimed to optimize the allocation of hydropower facilities on the basis of assessment of the theoretical and technical hydropower potential of rivers, as well as the possible vulnerability of hydro-meteorological facilities caused by the climate change and variable anthropogenic impact on river catchments. Currently implemented a two-component objective function defined by Pareto method is «economic», however, it can also take into account social factors, if this is required to satisfy user's practical interests.

Key words: hydroelectric power station, hydropower industry, hydroelectric potential, hydrometeorological vulnerability, hydrological risks, optimization, estimation.

Гидроэнергетические ресурсы – это часть водных ресурсов территории (административной единицы или отдельного водосбора), которая может быть использована для производства электроэнергии. Благодаря высокому уровню промышленного развития, страны Западной Европы и Северной Америки в те-

чение длительного времени опережали все другие страны по степени освоения гидроэнергоресурсов. Уже в середине 20-х годов гидропотенциал был освоен в Западной Европе примерно на 6 %, а в Северной Америке, располагавшей в этот период наибольшими гидроэнергетическими мощностями, – на 4 %. Через полвека соответствующие показатели составляли для Западной Европы около 60 %, а для Северной Америки – примерно 35 %. И если в развитых странах гидропотенциал в середине 70-х использовался примерно на 45 %, то в развивающихся странах – только на 5%. Для всего мира этот показатель в целом составляет 18 %. Таким образом, пока еще для мира характерно использование лишь небольшой части гидроэнергетического потенциала [1, 2, 3, 4]. Водность рек, а с ней и гидроэнергетический потенциал существенно изменяется во времени. Наибольшая водность характерна для весеннего половодья. Гидроэнергетический потенциал водотоков региона подразделяется на теоретический или валовый, технический и экономический [1, 2, 3, 4].

Технический потенциал представляет собой часть валового потенциала энергии водотока. В традиционной гидроэнергетике технический потенциал определяется как валовый, уменьшенный на величину потерь гидроэнергии в процессе ее преобразования в электроэнергию на ГЭС, а также потери от неиспользуемых участков водотока, различные потери в водохранилище и др. Таким образом, для ГЭС плотинного типа технический потенциал гидроэнергии – это энергетический максимум генерируемой электроэнергии, который может быть получен на данном водотоке с использованием современных технических средств и технологий энергопреобразования [1, 3, 4].

Валовая мощность водотока, характеризующая собой его теоретическую мощность, определяется по формуле

$$N_{\text{квт}} = 9,81 QH, \quad (1)$$

где Q – расход водотока, м³/с; H – падение, м.

Мощность определяется для трех характерных расходов: $Q = 95$ % – расход, обеспеченностью 95 % времени; $Q = 50$ % – обеспеченностью 50 % времени; $Q_{\text{ср}}$ – среднеарифметический [5, 7].

Теоретический валовой (брутто) потенциал гидроэнергетический потенциал (или общие гидроэнергетические ресурсы) подразделяется на поверхностный, учитывающий энергию стекающих вод на территории целого района или отдельно взятого речного бассейна, или речной, учитывающий энергию водотока [5]. Эксплуатационный чистый (или нетто) гидроэнергетический потенциал подразделяется на технический (часть теоретического валового речного потенциала, которая технически может быть использована или уже используется) и экономический (часть технического потенциала, использование которой в существующих реальных условиях экономически оправдано) [6].

Несмотря на исключительную важность гидроэнергетического потенциала как определяющего фактора размещения объектов гидроэнергетики, он не явля-

ется ни единственным, ни решающим, поскольку не менее важным фактором является гидрометеорологическая уязвимость проектируемого гидротехнического сооружения (ГТС).

Рассмотрим вопрос комплексного учёта гидроэнергетического потенциала рек и гидрометеорологической уязвимости проектируемых ГТС более подробно.

При решении оптимизационных задач первостепенным и важнейшим шагом является выбор целевой функции J – количественного или качественного критерия эффективности того или иного решения. В качестве целевой функции можно использовать, например, среднеквадратическое отклонение спрогнозированных значений какой-либо гидрометеорологической переменной от фактических [8].

При решении задачи оптимизации размещения объектов малой гидроэнергетики на основе оценивания теоретического и технического гидроэнергетического потенциала рек, а также возможной гидрометеорологической уязвимости этих объектов, целевая функция должна быть «экономической», однако при наличии практической заинтересованности со стороны пользователя она также может учитывать социальные факторы – например, численность населения, возможность создания новых рабочих мест и т.д. Такие факторы тоже можно в той или иной степени выразить «экономической» целевой функцией, поэтому в данной НИР мы сосредоточимся лишь на учёте практически осязаемых факторов – гидроэнергетического потенциала и гидрометеорологических рисков [9, 14].

Выбор целевой функции (англ. *objective function*) – это, по большому счёту, единственный полностью субъективный шаг, совершаемый при решении задачи оптимизации, поскольку он зависит исключительно от интересов, пристрастий и пожеланий пользователя, которые могут быть ошибочными или некорректно сформулированными. Выбор оптимизационной процедуры – процедуры поиска «наилучшего» решения – также не является абсолютно объективным шагом, поскольку в мире существуют десятки или даже сотни широко используемых оптимизационных процедур, использование которых может приводить к абсолютно разным решениям. Это происходит в том случае, когда поверхность отклика, отражающая зависимость целевой функции от определяющих её параметров, является невыпуклой и/или многомерной

В нашем случае целевая функция зависит лишь от двух параметров – гидроэнергетического потенциала N и гидрометеорологического риска R : $J = f(N, R)$ [10].

В свою очередь, риск R представляет собой произведение вероятности наступления опасного события (в частности, ОГЯ) P и наносимого этим событием материального ущерба L (от англ. *losses* – потери). Таким образом, $J = f(N, P \times L)$, где L всецело зависит от эффективности управленческих решений потребителя, поэтому в данной статье не рассматривается.

Очевидно, что наилучшим можно считать любое решение, при котором экономический гидроэнергетический потенциал положителен (то есть исполь-

зование ГЭС на данном водотоке экономически выгодно с учётом всех издержек), а риск равен нулю.

К сожалению, на практике обычно встречается совершенно другое положение дел: на водотоках с высоким гидроэнергетическим потенциалом весьма высоки и гидрометеорологические риски (в частности, риск разрушения или повреждения малой ГЭС, оборудования и инфраструктуры в результате прохождения катастрофического паводка или половодья) [11, 12, 13]. Поэтому в данной статье предлагается осуществлять поиск оптимального значения целевой функции J на основе подхода Парето. Оптимальность по Парето — такое состояние системы, при котором значение каждого частного показателя, характеризующего систему, не может быть улучшено без ухудшения других. В нашем случае — «улучшение» гидроэнергетического потенциала автоматически означает «ухудшение» гидрометеорологического риска, как это показано на рис. 1.

Нетрудно заметить, что потери L фактически лишь задают масштаб горизонтальной оси, отражающей гидрометеорологические риски, и принципиального влияния на метод поиска оптимального решения не оказывают.

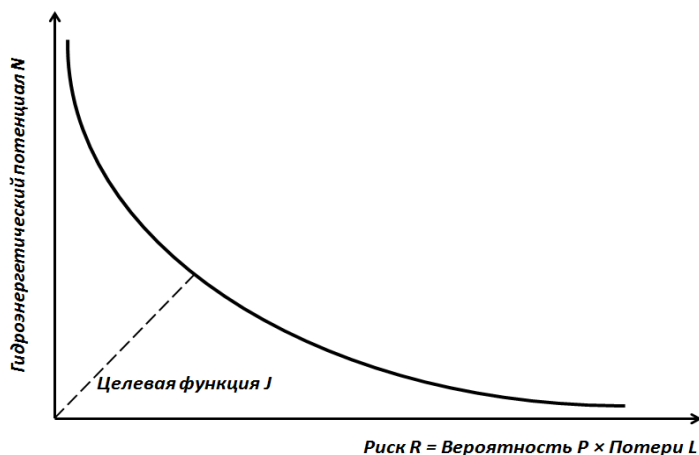


Рис. 1. Иллюстрация метода поиска оптимального решения по Парето

Таким образом, предлагаемый метод размещения объектов малой гидроэнергетики на основе оценивания теоретического и технического гидроэнергетического потенциала рек сводится к выполнению следующих шагов:

1. Для исследуемой территории (страны, региона, водосбора и т.д.) рассчитываются и картируются значения гидроэнергетического потенциала N и гидрометеорологического риска R (или лишь вероятностной составляющей риска — P).
2. Рассчитываются и картируются (в виде изолиний с заданным шагом) значения целевой функции J на основе подхода Парето. В этом случае целевая функция J представляет собой гипотенузу треугольника с координатами $\{(0,0); (0,N_i); (P_i,0)\}$.

Области карты целевой функции J , представляющей собой проекцию поверхности отклика $J = f(N, P \times L)$, соответствующие наименьшим значениям J , считаются оптимальными зонами размещения объектов гидроэнергетики (в частности, малой гидроэнергетики). На рис. 2 оптимальная зона со значениями целевой функции менее 10 условных единиц выделена более тёмным цветом [15].

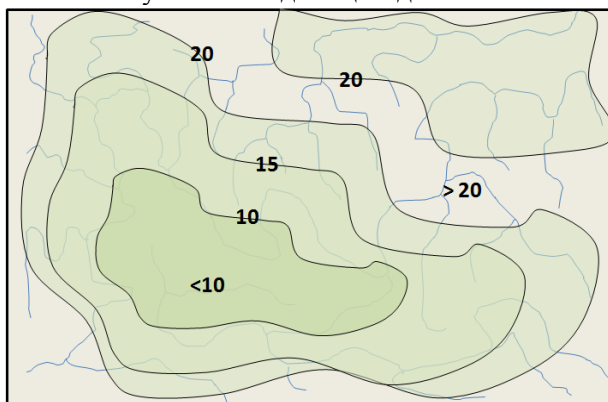


Рис. 2. Иллюстрация применения метода оптимизации размещения объектов малой гидроэнергетики (карта значений целевой функции J)

Описанный подход может и должен быть использован при подготовке следующих поколений сводов правил и другой нормативной литературы, регламентирующей проектирование ГТС в гидроэнергетике и других метеозависимых отраслях экономики нашей страны.

Литература

- Определение расчетных гидрологических характеристик, СНиП 2.01.14-83, Государственный комитет СССР по делам строительства. – М., 1985.
- Свод правил «Определение основных расчетных гидрологических характеристик», СП 33-101-2003. – М.: Стройиздат, 2004.
- Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеониздат, 1972.
- Карлин Л.Н., Кузьмин В.А., Дикинис А.В., Иванов М.Э., Шилов Д.В., Бородин Е.Г., Степанова Е.Д., Макин И.С., Чубарова А.В., Румянцев Д.Ю., Шеманаев К.В. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка технологий мониторинга, расчёта и прогнозирования гидрометеорологической уязвимости гидротехнических сооружений в условиях изменения климата и переменной антропогенной нагрузки». – СПб., 2013.
- Кузьмин В.А. Комплексное использование данных дистанционного зондирования, наземных наблюдений и численных прогнозов погоды при автоматизированном прогнозировании стока // Уч. зап. РГТМУ, 2011, № 22, с. 16-27.
- Кузьмин В.А. Алгоритмы автоматической калибровки многопараметрических моделей, используемых в оперативных системах прогнозирования паводков // Метеорол. и гидрол., 2009, № 7, с. 92-104.
- Кузьмин В.А. Аппаратно-программный комплекс «Inwada» по поиску, передаче и хранению гидрометеорологической информации в целях фонового прогнозирования опасных гидрологических явлений // Естествен. и технич. науки, 2009, № 6, с. 258-270.

- Кузьмин В.А.* Оценка увлаженности водосбора по данным дистанционного зондирования, наземных гидрометрических наблюдений и математического моделирования стока // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 45-57.
- Кузьмин В.А.* О возможности повышения заблаговременности прогнозов стока средних рек путем стыковки гидродинамических моделей погоды и гидрологических моделей // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 16, с. 22-27.
- Кузьмин В.А.* Основные принципы автоматической калибровки многопараметрических моделей, используемых в оперативных системах прогнозирования дождевых паводков // Метеорол. и гидрол., 2009, № 6, с. 74-85.
- Кузьмин В.А.* Постобработка и корректировка прогнозов паводков, выпускаемых при помощи автоматизированных систем // Метеорол. и гидрол., 2009, № 8, с.80-90.
- Кузьмин В.А.* Принципы автоматической обработки данных в автоматизированных системах прогнозирования стока // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 28-37.
- Кузьмин В.А.* Расчет максимальных расходов весеннего половодья методом оптимизации интегрального поправочного коэффициента // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 14, с. 5-13.
- Кузьмин В.А.* Фоновое прогнозирование стока в режиме, близком к реальному времени // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 38-44.

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.6 федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (проект № 14.516.11.0072 от 27 июня 2013 г.).

*А.В. Клейменова, Б.П. Колосков, В.П. Корнеев,
В.И. Лозовой, И.И. Акимова*

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РАБОТ
ПО ИСКУССТВЕННОМУ УВЕЛИЧЕНИЮ ОСАДКОВ
НА ЭТАПЕ ИХ ПЛАНИРОВАНИЯ**

A.V. Kleimenova, B.P. Koloskov, V.P. Korneev, V.I. Lozovoy, I.I. Akimova

**EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF PRODUCTION WORKS
ON ARTIFICIAL RAIN ENHANCEMENT
AT THE PLANNING STAGE**

В статье рассматриваются результаты исследований корреляционных зависимостей между урожайностью и количеством осадков для трёх сельскохозяйственных культур – озимой пшеницы, картофеля и сахарной свеклы, выращиваемых на территории Ставропольского края. Приводятся характеристики облачности и осадков, свидетельствующие о наличии в регионе облачных ресурсов для проведения в мае-июне работ по активным воздействиям на облака с целью увеличения осадков. Описывается алгоритм и результаты прогноза экономической эффективности производственных работ по искусственному увеличению атмосферных осадков для нужд сельского хозяйства с использованием самолетного метода.

Ключевые слова: искусственное увеличение осадков, засев облаков, урожайность, экономическая эффективность.

The results of studies of correlations between yield and rainfall for the three agricultural crops – wheat, potatoes and sugar beets grown in territory of the Stavropol region are discussed. Characteristics of clouds and precipitation indicate the presence of cloud resources for weather modification works to increase precipitation in the region during the May-June period. Algorithm and results of the economic efficiency forecast of production works on the artificial increase of rainfall for agriculture using aircraft method are described.

Key words: artificial precipitation enhancement, cloud seeding, crop, economic efficiency.

Введение

Как известно, более 60% территории Российской Федерации представляют собой зоны рискованного земледелия, в том числе в связи с недостатком осадков, необходимых в период вегетации сельскохозяйственных культур.

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования, выполненные в различных регионах мира, свидетельствуют о том, что использование современных технологий искусственного увеличения осадков методами активных воздействий (АВ) на облака позволяет увеличить месячное количество осадков в среднем на 10-30% от их нормы [3]. При этом естественно возникает вопрос об экономической эффективности работ по искусственному увеличению осадков (ИУО), в частности, для нужд сельского хозяйства. Проблеме оценки экономической эффективности работ по ИУО посвящен целый ряд исследований [1, 4, 8].

Так результаты оценки эффективности работ по ИУО на территории Ставропольского края в 1986–1990 гг., полученные для озимой пшеницы, свидетельствуют о высокой экономической эффективности АВ на облака в вегетационный период май-июнь [8]. Рентабельность работ по ИУО составила 1:10. Аналогичные результаты были получены при оценке эффективности АВ, выполненных в Закавказье в 1986–1990 гг. [4]. Так согласно оценкам рентабельность производственных работ по ИУО в бассейнах р. Иори и оз. Севан составила в зависимости от возделываемых сельскохозяйственных культур, сезона и способа засева облаков от 1:5 до 1:10.

Оценка экономической эффективности работ по ИУО основывается, как правило, на определении приращения осадков за счет ИУО и моделях «урожай – осадки», описывающих зависимость урожайности от осадков. Для определения связей между урожайностью сельскохозяйственных культур и осадками, как правило, используются статистические методы, а именно, корреляционный анализ [2, 5, 6, 7].

В настоящей работе рассматриваются результаты исследования корреляционных зависимостей между урожайностью и осадками для трёх сельскохозяйственных культур – озимой пшеницы, картофеля и сахарной свеклы, выращиваемых на территории Ставропольского края в последнее десятилетие с 2003 по 2011 гг., приводятся характеристики облачности и осадков и оценка экономической эффективности производственных работ по ИУО с использованием самолетных средств воздействий на облака.

1. Исследование корреляционных зависимостей между урожайностью сельскохозяйственных культур и осадками

Исследование зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от количества осадков проводилось с использованием:

- 1) данных о месячных количествах осадков, измеренных 16 наземными метеостанциями на территории Ставропольского края в 2003–2011 гг. (рис. 1).
- 2) данных об урожайности сельскохозяйственных культур за этот же период.

Для исследования связи урожайности с осадками, выпавшими за выбранный период времени, использовались линейные уравнения регрессии вида:

$$Q = a + \sum_{i=1}^n b_i P_i \quad - \text{модель 1} \quad (1)$$

$$Q = a + b P_{\text{ср}} \quad - \text{модель 2} \quad (2)$$

где Q – урожайность сельхозкультур, ц/га; P_i – количество осадков, мм, измеренных i -й метеостанцией; $P_{\text{ср}}$ – среднее количество осадков, выпавших на территории края за выбранный период времени. Коэффициенты a и b определяются методом наименьших квадратов по данным анализируемого периода 2003–2011 гг.



Рис. 1. Карта Ставропольского края и метеостанции,

данные которых использовались для исследования связи «урожай – осадки». 1 – Арзгир, 2 – Александровское, 3 – Светлоград, 4 – Ставрополь, АМСГ, 5 – Невинномысск, 6 – Новоалександровск, 7 – Красногвардейское, 8 – Кисловодск, 9 – Рожино, 10 – Благодарный, 11 – Буденновск, 12 – Мин. Воды, 13 – Георгиевск, 14 – Дивное, 15 – Зеленокумск, 16 – Изобильный

Следует отметить, что при использовании регрессионной модели (1) возникает задача выбора набора независимых переменных P_i , адекватно описывающих изучаемый объект. Так, в нашем случае – точно предсказать урожайность выбранной для анализа сельхозкультуры по данным об осадках, полученным 16 метеостанциями. Для этого необходимо правильно отобрать такие станции, которые дали бы наименьшую ошибку прогноза урожайности.

В качестве меры согласия модели регрессии с имеющимися данными широко используется коэффициент детерминации R^2 , т.е. квадрат множественного коэффициента корреляции R , численно выражающий долю дисперсии зависимой переменной, объясненную с помощью регрессионного уравнения. Однако, критерий R^2 в нашем случае непригоден для процедуры отбора подмножества предикторов, так как при сравнении подмножеств та модель, которая включает больше предикторов, будет иметь большее значение R^2 [5, 6].

В случае переменного числа предикторов вместо R^2 в качестве критерия качества прогноза по уравнению регрессии следует использовать его модификацию – скорректированный коэффициент детерминации, определяемый как

$$R_a^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n-1}{n-k}, \quad (3)$$

где k – количество членов в регрессионном уравнении (1); n – количество лет, используемых для анализа. При этом наилучшим регрессионным уравнением, обеспечивающим минимальную ошибку прогноза, считается уравнение с подмножеством переменных, обеспечивающих наибольшее значение R_a^2 [2, 5, 6].

Для исследования зависимости урожайности от осадков были построены регрессионные модели связи урожайности трех сельскохозяйственных культур (озимой пшеницы, картофеля и сахарной свеклы) от количества осадков, выпавших в различные периоды года – в осенний (сентябрь–октябрь–ноябрь) и весенний (май–июнь) периоды.

Анализ результатов исследований моделей «урожай–осадки», описываемых уравнениями (1) и (2), показал, что для выбранных для анализа сельхозкультур статистически значимая (на уровне 0,05) связь урожайности для озимой пшеницы наблюдается с осадками, выпавшими в июне и мае-июне, а для картофеля и сахарной свеклы – в мае и мае-июне. При этом для всех трех сельхозкультур наибольшая связь урожайности наблюдается с осадками, выпавшими в вегетационный период май-июнь (рис. 2–4).

Так, коэффициенты корреляции между урожайностью и количеством осадков, выпавших в мае-июне, оказались равными:

для озимой пшеницы – $R_{\text{оз.пш}} = 0,899$ (модель 1) и $R_{\text{оз.пш}} = 0,827$ (модель 2);

для картофеля – $R_{\text{карт}} = 0,982$ (модель 1) и $R_{\text{карт}} = 0,881$ (модель 2); для сахарной свеклы – $R_{\text{сах.св}} = 0,971$ (модель 1) и $R_{\text{сах.св}} = 0,803$ (модель 2).

Таким образом, выполненные исследования свидетельствуют о высокой степени зависимости урожайности выращиваемых на территории Ставропольского края озимой пшеницы, картофеля и сахарной свеклы от выпадающих в мае-июне осадков, что позволяет использовать полученные корреляционные связи для прогноза урожайности этих сельскохозяйственных культур на основе данных об осадках. В свою очередь прогноз урожайности может быть использован, как это будет показано ниже, для оценки экономической эффективности работ по ИУО.

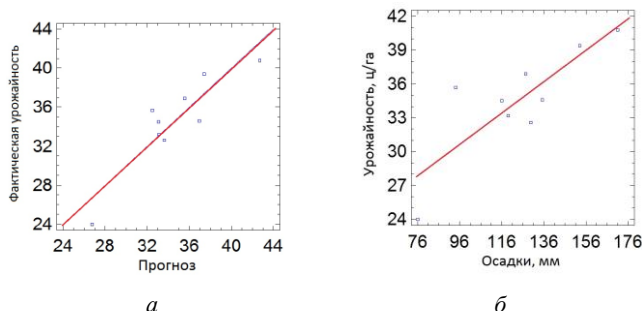


Рис. 2. Корреляционная зависимость между урожайностью озимой пшеницы и количеством осадков в мае-июне (а – модель 1; б – модель 2)

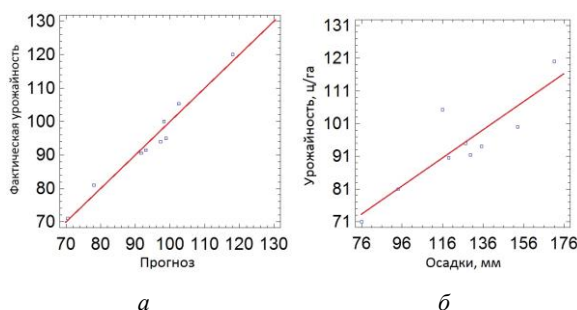


Рис. 3. Корреляционная зависимость между урожайностью картофеля и количеством осадков в мае–июне (*а* – модель 1; *б* – модель 2)

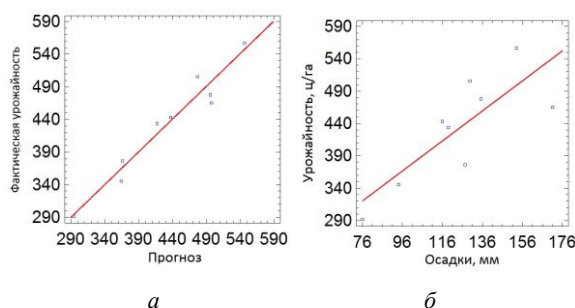


Рис. 4. Корреляционная зависимость между сахарной свеклой и количеством осадков в мае–июне (*а* – модель 1; *б* – модель 2)

2. Характеристики облачности и осадков в Ставрополье в мае–июне

Как отмечено во введении оценка экономической эффективности работ по ИУО наряду с использованием моделей «урожай–осадки» предполагает использование информации о количестве дополнительных осадков, которые можно получить в результате АВ на облака. Наличие такой информации позволяет по приращению осадков за счёт работ по АВ оценить прирост урожайности для выбранных сельхозкультур и рассчитать экономический эффект ИУО.

Очевидно, что эффективность проведения работ по ИУО на заданной территории в значительной степени зависит от облачных ресурсов, т.е. от наличия облаков, пригодных для воздействия, а также вклада осадков из этих облаков в общий слой осадков на выбранной площади. Ниже приводятся результаты анализа характеристик облачности и осадков, полученных по данным регулярных 3-часовых наблюдений за облачностью и осадками на метеостанции Минеральные Воды (№ 12, рис. 1), а также по данным радиозондирования, выполняемым в сроки 4 и 16 ч (местное время) в аэропорту Минеральные Воды.

Анализ данных наблюдений на метеостанции Минеральные Воды за период 2005–2012 гг. показал, что в мае в среднем 49 % месячного количества осадков выпадает в дневное время (с 10 до 22 ч) и 51 % в ночное время (с 22 до 10

ч). В июне 51 % месячного количества осадков выпадает в дневное время и 49 % в ночное время. Таким образом, в дневное и ночное время суток в мае и июне выпадает практически одинаковое количество осадков. Однако, как видно из рис. 5, наблюдается значительная изменчивость как дневных, так и ночных осадков. Так, в мае дневные осадки менялись от 20,3 до 74,8 мм, а ночные – от 9,6 до 78,7 мм, а в июне менялись от 1,6 до 95 мм днём и от 9,5 до 79,3 мм ночью. При этом коэффициенты вариации, характеризующие изменчивость осадков, составили $C_{VD} = 0,45$ и $C_{VN} = 0,58$ в мае и $C_{VD} = 0,70$ и $C_{VN} = 0,60$ в июне.

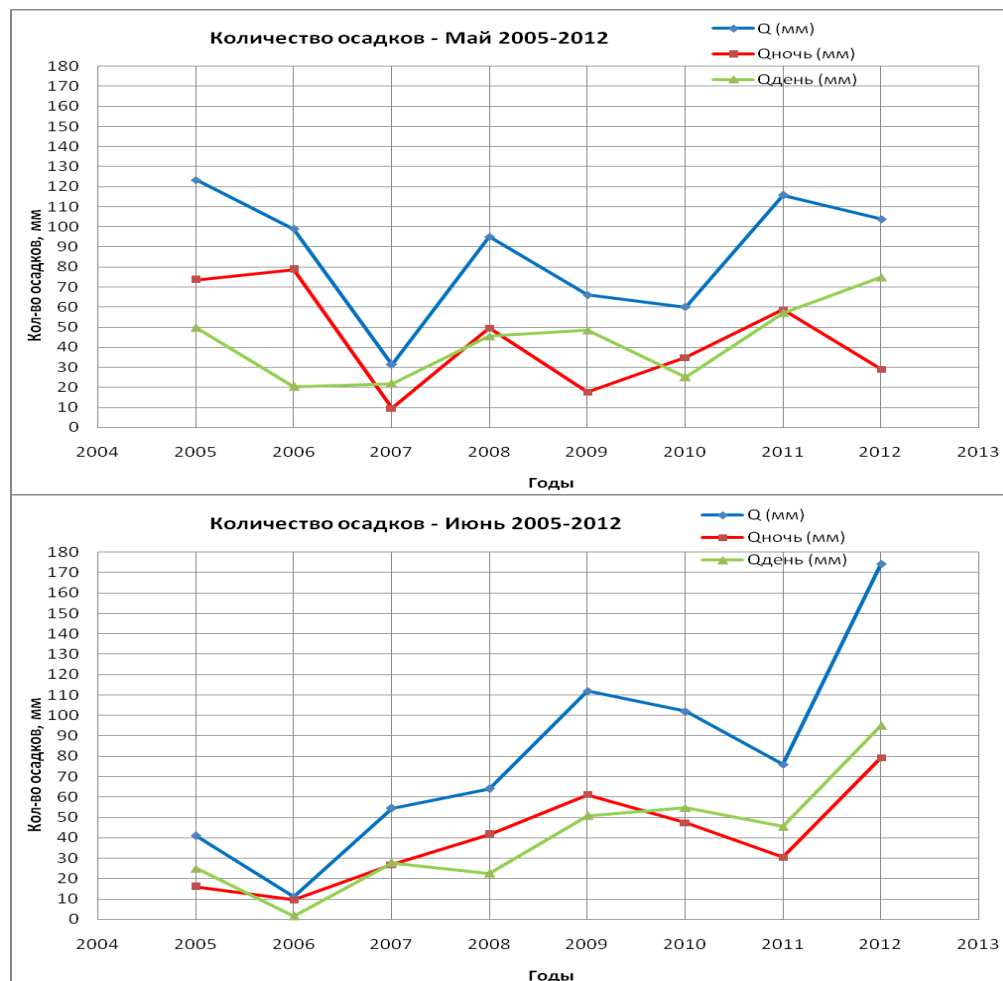
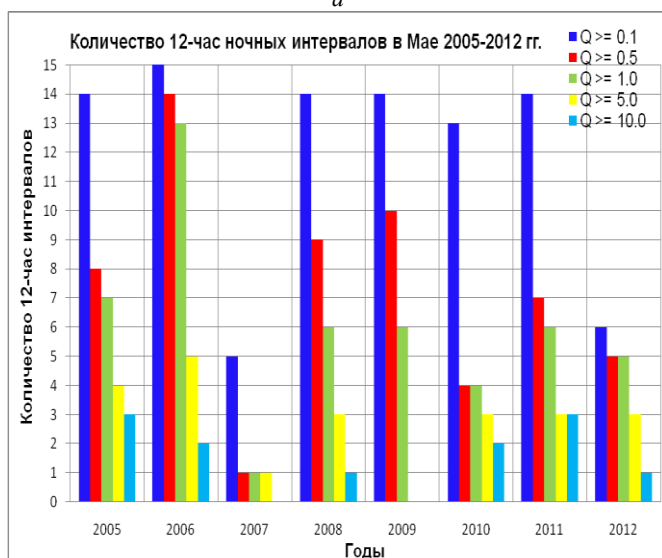
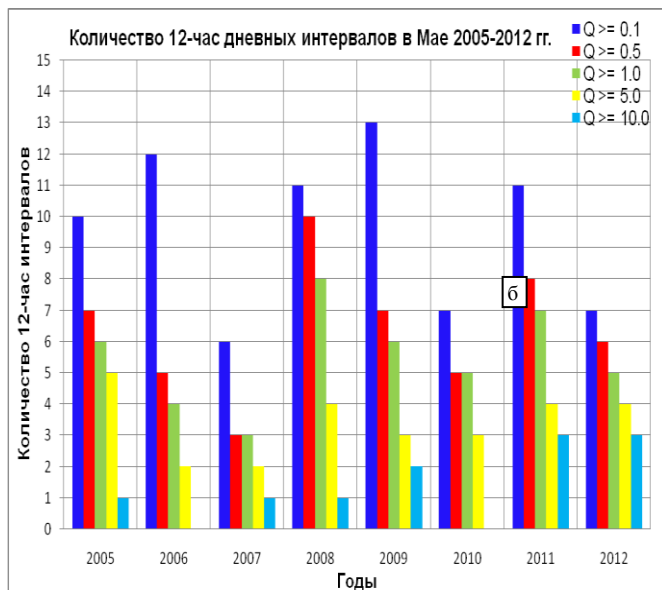
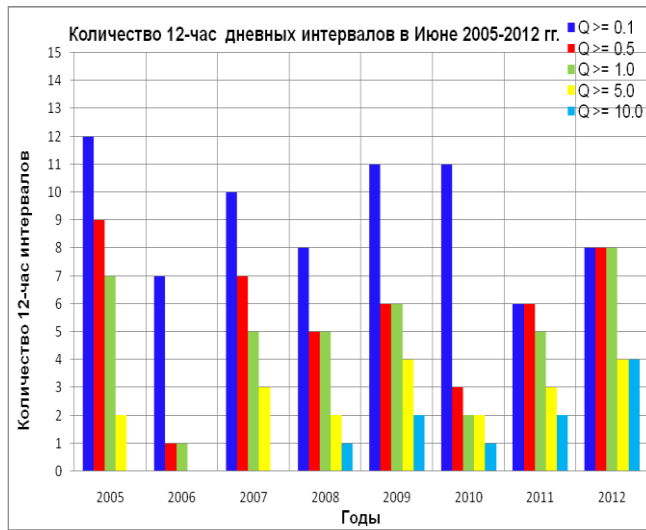


Рис. 5. Количество осадков в Минеральных Водах в мае и июне 2005-2012 гг.

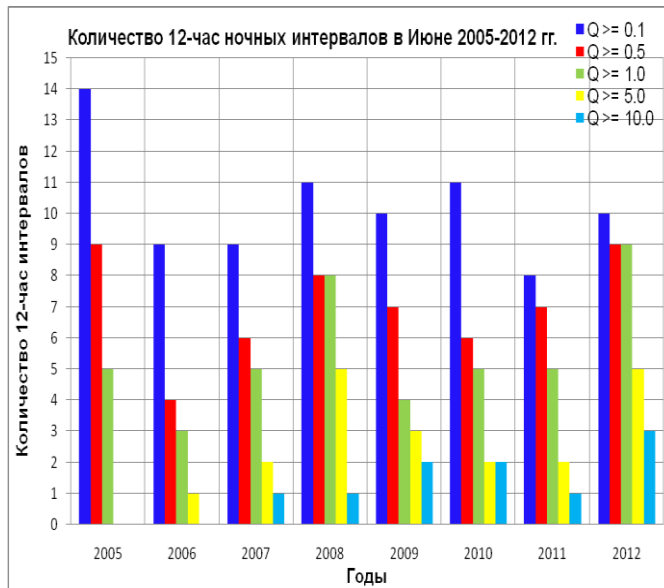
Анализ данных также показал, что в мае наблюдалось 6–13 дневных и 5–15 ночных случаев выпадения осадков (рис. 6), т.е. в мае в среднем было отмечено 9,6 случаев выпадения осадков в дневной и 11,9 случаев в ночной периоды. При

этом 3–8 случаев дневных и 1–13 случаев ночных осадков в мае дали более 90 % месячного дневного и ночного количества осадков, соответственно. В июне наблюдалось 6–12 дневных и 8–14 ночных случаев выпадения осадков (рис. 7), т.е. в июне в среднем отмечено 9,1 случаев выпадения осадков в дневной и 10,3 случаев в ночной периоды. При этом 2–7 случаев осадков в июне днём и 3–9 случаев осадков ночью дали более 90 % месячного дневного и ночного количества осадков.





в



г

Рис. 6. Количество 12-часовых дневных (а, в) и ночных (б, г) интервалов с осадками в мае (а, б) и в июне (в, г) 2005–2012 гг.

Важной с точки зрения оценки облачных ресурсов на заданной территории является также информация о температуре верхней границы облачности. Как известно, максимальная температура, при которой в облаке генерируется количество ледяных частиц, достаточное для заметного влияния на процесс осадко-

образования, для йодистого серебра AgI, наиболее широко используемого для АВ на облака различных типов, составляет по данным разных авторов минус 4–6 °С [3]. В связи с этим были получены оценки вклада в слой осадков, выпадающих из облаков с температурой верхней границы меньше минус 5 °С. Анализ данных об облачности и осадках для Минеральных Вод показал, что в мае вклад осадков из облаков с такой температурой составляет в дневное время 78 %, а в ночное – 76 %. В июне вклад осадков из таких облаков составляет 61 и 71 % в дневное и ночное время, соответственно.

Таким образом, результаты исследований характеристик облачности и осадков позволяет сделать вывод, что данный регион располагает облачными ресурсами для проведения в мае-июне работ по АВ на облака с целью увеличения осадков для нужд сельского хозяйства.

3. Экономическая эффективность производственных работ по ИУО

Расчет экономической эффективности ИУО методами активных воздействий на территории Ставропольского края проводился с помощью полученные в разделах 2 и 3 моделей «урожай-осадки» для озимой пшеницы, картофеля и сахарной свеклы и характеристик облачности и осадков для этой территории.

Используя уравнения (1) и (2) нетрудно показать, что прирост урожайности ΔQ за счет дополнительно полученной воды ΔP составит при искусственном увеличении осадков в результате активных воздействий на облака:

$$\Delta Q = \sum_{i=1}^n b_i \Delta P_i \text{ и } \Delta Q = b \Delta P - \text{соответственно для моделей (1) и (2),}$$

где ΔP_i – дополнительные осадки, измеренные на станциях, входящих в регрессионное уравнение (1), дающее наименьшую ошибку прогноза урожайности Q по модели 1.

При занятой под сельхозкультуру площади S увеличение сбора урожая составит $\Delta V = \Delta Q * S$. Выручка от продажи дополнительно урожая, полученного благодаря ИУО в наиболее благоприятные с точки зрения роста растений месяцы, составит:

$$\Delta D = \Delta V * D = \Delta Q S D, \quad (3)$$

где D – закупочная цена сельхозкультуры.

В табл. 1–3 приведены результаты оценки экономической эффективности ИУО с учётом облачных ресурсов в предположении, что работы по АВ на облака выполняются в дневное время, т.е. будет использоваться самолетный метод, и увеличение осадков в мае-июне благодаря АВ составит 10 и 20 %, соответственно. Расчеты выполнены по данным о средних ценах и посевной площади сельхозкультур в период 2003–2011 гг. Следует отметить, что значения $\Delta Q_{\min}$ и $\Delta Q_{\max}$ в табл. 1–3 определялись для сезонов, в которые в мае-июне наблюдались минимальные и максимальные осадки на территории Ставропольского края.

Таблица 1

Экономическая эффективность ИУО для озимой пшеницы

Период	$\Delta Q_{\min}$, ц/га	$\Delta Q_{\max}$, ц/га	$\Delta V_{\min}$, т	$\Delta V_{\max}$, т	$\Delta D_{\min}$, млн руб.	$\Delta D_{\max}$, млн руб.	Модель
Увеличение осадков на 10 %							
Июнь	0,1	0,36	15 869	57 094	57	205	1
	0,14	0,31	21 859	49 198	79	177	2
Май –	0,28	0,83	44 362	130 877	160	471	1
Июнь	0,37	1,83	58 048	130 512	209	470	2
Увеличение осадков на 20 %							
Июнь	0,20	0,72	31 737	114 188	114	411	1
	0,28	0,62	43 718	98 397	157	354	2
Май –	0,56	1,66	88 724	261 754	319	942	1
Июнь	0,74	1,65	116 096	261 024	418	939	2

Таблица 2

Экономическая эффективность ИУО для картофеля

Период	$\Delta Q_{\min}$, ц/га	$\Delta Q_{\max}$, ц/га	$\Delta V_{\min}$, т	$\Delta V_{\max}$, т	$\Delta D_{\min}$, млн руб.	$\Delta D_{\max}$, млн руб.	Модель
Увеличение осадков на 10 %							
Май	0,69	2,08	1 929	5 840	16	47	1
	0,60	1,35	1 684	3 782	14	31	2
Май –	1,37	3,01	3 846	8 442	31	68	1
Июнь	1,13	2,55	3 185	7 161	26	58	2
Увеличение осадков на 20 %							
Май	1,37	4,16	3 859	11 679	31	94	1
	1,20	2,69	3 367	7 564	27	61	2
Май –	2,74	6,01	7 692	16 883	62	136	1
Июнь	2,27	5,11	6 370	14 322	51	116	2

Таблица 3

Экономическая эффективность ИУО для сахарной свеклы

Период	$\Delta Q_{\min}$, ц/га	$\Delta Q_{\max}$, ц/га	$\Delta V_{\min}$, т	$\Delta V_{\max}$, т	$\Delta D_{\min}$, млн руб.	$\Delta D_{\max}$, млн руб.	Модель
Увеличение осадков на 10 %							
Май	3,47	7,85	8 862	20 042	11	25	1
Май –	4,30	10,69	10 989	27 285	14	35	1
Июнь	6,10	12,28	15 581	31 347	20	40	2
Увеличение осадков на 20 %							
Май	6,94	15,70	17 725	40 084	22	51	1
Май –	8,61	21,37	21 978	54 570	28	69	1
Июнь	12,21	24,56	31 163	62 694	39	79	2

Для определения чистого дохода необходимо оценить расходы на выполнение работ по ИУО, проводимых с использованием самолетного метода, которые складываются из следующих затрат:

$$V_{\Sigma} = \sum (V_{\text{смл}} + V_{\text{реаг}} + V_{\text{спец}} + V_{\text{рл}} + V_{\text{метео}} + V_{\text{накл}} + W) N, \quad (4)$$

где $V_{\text{смл}}$ – затраты на выполнение авиационных работ, включая аренду самолета, расходы на ГСМ, аэродромные и аэронавигационные расходы; $V_{\text{реаг}}$ – затраты на реагенты (гранулированная углекислота, пиропатроны с йодидом серебра,

жидкий азот); $V_{\text{спец}}$ – заработная плата и командировочные расходы специалистов; $V_{\text{рл}}$ – затраты на обеспечение работ радиолокационной информацией; $V_{\text{метео}}$ – затраты на обеспечение работ метеорологической информацией; $V_{\text{накл}}$ – накладные расходы предприятия; W – прибыль; N – налог на добавленную стоимость (для работ, выполняемых на территории РФ).

Расчеты затрат проводились для случая выполнения работ по АВ на облака с использованием самолетного метода на территории Ставропольского края в мае-июне. В разделе 2 показано, что в мае и июне 7–8 случаев выпадения осадков в дневное время дают более 90% месячного дневного количества осадков. В связи с этим для проведения воздействий на облака в дневное время в мае-июне при использовании самолётов типа «Гжель» и Ан-30 в среднем необходимо отработать 16 дней (по 8 дней ежемесячно). В табл. 4 приведены результаты расчетов затрат при проведении работ по ИУО с использованием двух типов самолетов.

Таблица 4

Период работ по ИУО	Затраты, млн руб.	
	М-101Т «Гжель»	Ан-30
1 месяц (май или июнь)	18,5	30,0
2 месяца (май и июнь)	33,0	55,0

Сравнение приведенных в табл. 1–3 результатов расчётов экономической эффективности работ по ИУО на примере трёх сельскохозяйственных культур, выращиваемых на территории Ставропольского края, с приведенными в таблице 4 оценками расходов на проведение производственных работ по АВ на облака самолетным методом позволяет сделать вывод, что чистая прибыль работ по ИУО может составить:

– для озимой пшеницы при 10 %-ном увеличении осадков от 28,8 до 184,2 млн руб. в июне и от 109 до 438 млн руб. в мае-июне для разных типов используемых самолётов;

– для картофеля при 20%-ном увеличении осадков – до 64,5 млн руб. в мае и до 86,1 млн руб. в мае-июне, при этом в сезоны с минимальными облачными ресурсами применение самолётов типа Ан-30 оказывается нерентабельным;

– для сахарной свёклы при 20 %-ном увеличении осадков от 4,0 до 32,5 млн руб. в мае и до 48,6 млн руб. в мае-июне, при этом в сезоны с минимальными облачными ресурсами применение самолетов типа Ан-30 в мае и Ан-28, «Гжель» и Ан-30 в мае-июне оказывается нерентабельным.

Выводы

1. Таким образом, проведенный анализ показывает, что при дополнительном количестве выпадающих осадков выше 10–20 % от месячной нормы в мае-июне прирост урожайности таких культур как озимая пшеница, картофель и сахарная свекла позволяет рассматривать проведение производственных работ по искусственному увеличению осадков с использованием самолётного метода перспективным.

2. Разработанный алгоритм оценки экономической эффективности производственных работ по искусственному увеличению атмосферных осадков для нужд сельского хозяйства может быть использован при планировании этих работ в различных сельскохозяйственных регионах.

Литература

1. *Дмитриенко В.П.* Оценка влияния температуры воздуха и осадков на формирование урожая основных зерновых культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 49 с.
2. *Дрейпер Н., Смит Г.* Прикладной регрессионный анализ. Т. 1. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 366 с.
3. *Колосков Б.П., Корнеев В.П., Шукин Г.Г.* Методы и средства модификации облаков, осадков и туманов. – СПб., 2012. – 341 с.
4. *Сванидзе Г.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш.* О физической и экономической эффективности работ по искусственному увеличению осадков в Закавказье. // Доклады V Всесоюзного совещания «Планирование и оценка эффективности работ по искусственному увеличению осадков». – Ставрополь, 1990, с. 80-90.
5. *Себер Дж.* Линейный регрессионный анализ. – М.: Мир, 1980. – 456 с.
6. *Уланова Е.С., Забелин В.Н.* Методы корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 207 с.
7. *Экба Я.А., Каплан Л.Г., Закинян Р.Г.* Физико-статистические модели урожай осадки для засушливых и влагообеспеченных районов Ставропольского края // Докл. V Всесоюз. совещания «Планирование и оценка эффективности работ по искусственному увеличению осадков». – Ставрополь, 1990, с. 64-70.
8. *Экба Я.А., Каплан Л.Г., Закинян Р.Г.* Экономическая эффективность работ по искусственному увеличению осадков в Ставропольском крае. // Доклады V Всесоюзного совещания «Планирование и оценка эффективности работ по искусственному увеличению осадков». – Ставрополь, 1990, с. 77-80.

В.В. Михайлов, В.М. Умывакин, В.А. Драбенко, А.В. Швец, А.А. Воронин

**КВАЛИМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ
ТЕРРИТОРИЙ ПРИРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГЕОСИСТЕМ**

V.V. Mikhailov, V.M. Umyvakin, V.A. Drabenko, A.V. Shvets, A.A. Voronin

**THE QUALIMETRICAL MODELLING
OF THE INTEGRAL ASSESSMENT OF ECOLOGICAL DANGER
OF TERRITORIES OF NATURAL AND ECONOMIC GEOSYSTEMS**

В работе рассматриваются квалиметрические модели интегральной оценки геоэкологического состояния территорий природно-хозяйственных геосистем и их применение для измерения общей эрозионной опасности земель речных водосборов Воронежской области.

Ключевые слова: устойчивое природопользование, природно-хозяйственная геосистема, интегральная оценка экологической опасности территорий.

In article the qualimetical models of an integrated assessment of a geoecological condition of territories of natural and economic geosystems and their application for measurement of the general erosive danger of lands of river reservoirs of the Voronezh region are considered.

Key words: steady using of nature, natural and economic geosystem, integral assessment of ecological danger of territories.

В настоящее время особенно актуальной проблемой управления устойчивым природопользованием является интегральная оценка качества (деградации) территорий в категориях экологической безопасности (опасности) и риска [1–5].

В работе [6, с. 151] экологическая опасность определяется как «вероятность нарушения и деградации окружающей среды в результате антропогенных воздействий, стихийных бедствий и природных катастроф, приводящих к угрозе человеку и его здоровью». Согласно «Инструкции по экологическому обоснованию хозяйственной и иной деятельности» (утв. приказом Минприроды России от 29.11.95, № 539), обоснование хозяйственной деятельности «осуществляется для оценки экологической опасности намечаемых мероприятий, своевременного учета экологических, социальных и экономических последствий воздействия планируемых объектов на окружающую среду». Там же дается определение: «Опасность экологическая – вероятность ухудшения показателей качества природной среды (состояний, процессов) под влиянием природных и техногенных факторов, представляющих угрозу экосистемам и человеку». Далее под экологической опасностью нами понимается возможность (вероятность) потери качества территорий природно-хозяйственных геосистем (ПХГС) в результате неконтролируемой антропогенной деятельности.

ПХГС – это сложный территориально и функционально целостный природно-антропогенный объект, выделенный по определенному принципу (например, бассейновому), имеющий разнокачественные природные и хозяй-

ственные компоненты, взаимосвязанные потоками вещества, энергии и информации. При этом качество территорий ПХГС, оцениваемое как относительно экологических требований (норм), так и с точки зрения их природно-хозяйственной значимости, рассматривается как иерархическая система дифференциальных (частных) свойств геосистемы. На нижнем уровне иерархической структуры («дерева свойств») качество территорий описывается определенным набором природно-хозяйственных показателей – частных показателей качества (ПК).

Важнейшим системным принципом является принцип целостности (эмерджентности), который проявляется в возникновении у геосистемы «новых, интегративных качеств, несвойственных ее компонентам». Принцип целостности имеет две стороны [7, с. 55]: 1) неаддитивность, которая состоит в том, что «свойство системы (целого) не является простой суммой свойств составляющих ее элементов (частей)» и которая характеризует взаимосвязь системы как целого с внешней средой; 2) «свойства системы (целого) зависят от свойств составляющих ее элементов (частей)». При этом объединенные в систему компоненты, как правило, утрачивают часть свойств, присущим им вне системы, а с другой стороны, компоненты, входящие в состав системы, могут приобрести новые свойства. Например, природные компоненты геосистем, подверженные антропогенному воздействию.

Таким образом, для геосистемного анализа проблемных экологических ситуаций на основе квалиметрического подхода необходимо использовать модели и методы неаддитивной интегральной оценки геоэкологического состояния ПХГС. В геоэкологической квалиметрии [2–5] в основном используются следующие интегральные оценки качества сложных ПХГС типа средних величин (табл. 1): аддитивная (средневзвешенная арифметическая) и мультипликативная (средневзвешенная геометрическая). В табл. 1 через d_j обозначена j -я частная относительная оценка некачественности (деградации, экологической опасности) территорий ПХГС по j -му частному ПК.

Таблица 1

Виды средневзвешенных величин – интегральных оценок качества ПХГС

Вид среднего взвешенного	Формула	Функция $\varphi(d_j)$	Функция $\varphi^{-1}(d_j)$
Арифметическое	$d_m = \sum_{j=1}^m \lambda_j d_j$	$\varphi(d_j) = d_j$	$\varphi^{-1}(d_j) = d_j$
Геометрическое	$d_g = \prod_{j=1}^m d_j^{\lambda_j}$	$\varphi(d_j) = \ln(d_j)$	$\varphi^{-1}(d_j) = e^{d_j}$
Квазигеометрическое	$d = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - d_j)^{\lambda_j}$	$\varphi(d_j) = -\ln(1 - d_j)$	$\varphi^{-1}(d_j) = 1 - e^{-d_j}$

Примечание: действительные числа d_j принимают значения из интервала (0, 1).

Весовые коэффициенты λ_j частных оценок d_j удовлетворяют условию:

$$\sum_{j=1}^m \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, j=1, 2, \dots, m. \quad (1)$$

Например, в работе [8] оценками d_j являются нелинейные экспоненциальные функции желательности

$$d_j(z_j) = [\exp(-\exp(-z_j))], \quad (2)$$

где z_j – нормированное значение j -го ПК; $\exp$ – экспоненциальная функция.

Отметим, что аддитивные интегральные оценки и мультипликативные интегральные оценки типа средневзвешенного геометрического не удовлетворяют существенному свойству «ограниченной компенсации», т.е. условию невозможности улучшения значений некоторых частных оценок за счет компенсации сколь угодно большого снижения качества по другим частным оценкам.

Сформулируем следующий набор содержательных требований к интегральной оценке экологической опасности ПХГС, следуя работе [2]: конструируемая оценка должна позволять измерять уровень деградации территорий геосистем; оценка должна быть представлять собой некоторую «сводную» формулу, в которой «объединены» частные относительные оценки экологической опасности по отдельным ПК; методики построения частных оценок должны входить составной частью в методику интегральной оценки; частные оценки и интегральная оценка должны допускать вероятностную интерпретацию; интегральная оценка должна быть адаптивной, позволяющей при необходимости расширять перечень частных ПК [11, 12].

Для построения интегральной оценки экологической опасности территорий нужно иметь относительные частные оценки по каждому ПК. Обозначим через y_j^i – значение j -го ПК i -й ПХГС, а через y_j^* – допустимое значение j -го ПК (нормативное экологическое требование) для всех анализируемых геосистем. Поставим им в соответствие две безразмерные величины, принимающие значения из интервала $[0,1]$: $M_j^i = M_j(y_j^i)$ – абсолютную оценку качества по j -му ПК для i -й ПХГС и $E_j = E_j(y_j^*)$ – соответствующий нормативный уровень. Будем считать, что требование к качеству территорий по j -му ПК для i -й геосистемы выполнено, если $M_j^i \geq E_j$. При этом частная относительная оценка d_j^i экологической опасности i -й ПХГС по j -му ПК, как функция величин E_j и M_j^i , должна удовлетворять следующим условиям: 1) $0 \leq d_j^i \leq 1$ при $M_j^i \geq E_j$; 2) $d_j^i = 0$ при $E_j = 0$, $M_j^i > 0$ (оценка минимальна, если нет никаких требований к качеству); 3) $d_j^i = 0$ при $M_j^i = 1$ и $M_j^i > E_j$ (оценка минимальна при «идеальном» качестве независимо от требований); 4) $d_j^i = 1$ при $M_j^i = E_j \neq 0$ (оценка максимальна при предельно низком допустимом качестве).

В работах [4, 9–14] показано, что при $M_j^i \geq E_j$ условиям (1)–(4) удовлетворяет частная оценка экологической опасности территории ПХГС вида:

$$d_j^i = [E_j(1 - M_j^i)]/[M_j^i(1 - E_j)]. \quad (2)$$

Данная оценка позволяет измерять условную вероятность события, состоящего в том, что требование к интегральному качеству геосистемы не выполняется при выполнении требований к ее качеству по j -му частному ПК.

Проведенное в работе [9] теоретико-математическое обоснование показывает, что требованиям коммутативности (равноценности) и ассоциативности (иерархической одноуровненности) удовлетворяет интегральная оценка вида (операция квазисложения):

$$d = d_1 + d_2 - d_1 d_2 = 1 - (1 - d_1)(1 - d_2) = d_1 \oplus d_2. \quad (3)$$

Данная формула совпадает с формулой вероятности суммы независимых событий. Операция квазиумножения на произвольное неотрицательное число λ_j и операция квазиумножения частных оценок имеют следующий вид:

$$\lambda_j \otimes d_j = 1 - (1 - d_j)^{\lambda_j}, \quad (4)$$

$$d = d_1 \otimes d_2 = 1 - \exp\{-\ln[1/(1 - d_1)] \ln[1/(1 - d_2)]\}. \quad (5)$$

В общем случае для m частных ПК интегральная оценка экологической опасности территорий ПХГС является средневзвешенной квазигеометрической величиной (см. таблицу 1) и имеет вид [4, 10]:

$$D^i = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - d_j^i)^{\lambda_j}. \quad (6)$$

Здесь λ_j – весовые коэффициенты частных оценок d_j^i , удовлетворяющие условию (1), $j = 1, 2, \dots, m$.

Покажем, что данная оценка является средневзвешенным «квазигеометрическим» в смысле ассоциативного среднего по А.Н. Колмогорову [12].

Ассоциативное среднее для действительных чисел $d_1, d_2, \dots, d_m$ вычисляется по формуле:

$$f(d_1, d_2, \dots, d_m) = \varphi^{-1} \left[\frac{1}{m} \varphi(d_1) + \frac{1}{m} \varphi(d_2) + \dots + \frac{1}{m} \varphi(d_m) \right],$$

где φ – непрерывная строго монотонная функция; φ^{-1} – функция, обратная к ней.

Средневзвешенное для действительных чисел $d_1, d_2, \dots, d_m$ – это величина вида $f(d_1, d_2, \dots, d_m) = \varphi^{-1} [\lambda_1 \varphi(d_1) + \lambda_2 \varphi(d_2) + \dots + \lambda_m \varphi(d_m)]$, где весовые коэффициенты λ_j удовлетворяют условию (1). При $\varphi(d_j) = d_j$, $\varphi(d_j) = \ln(d_j)$, $\varphi(d_j) = -\ln(1 - d_j)$ имеем средневзвешенное арифметическое, геометрическое и «квазигеометрическое» соответственно (см. табл. 1).

Так, для двух частных оценок d_1 и d_2 с весовыми коэффициентами $3/4$ и $1/4$ соответственно величина $3/4 d_1 + 1/4 d_2$ является средневзвешенным арифметическим, величина $d_1^{3/4} d_2^{1/4}$ – средневзвешенным геометрическим, а величина $[1 - (1 - d_1^{3/4})(1 - d_2^{1/4})]$ – средневзвешенным квазигеометрическим. Эти величины удовлетворяют следующим неравенствам:

$$\begin{aligned} 3/4 d_1 + 1/4 d_2 &= 1/2 d_1 + (1/4 d_1 + 1/4 d_2) = 1/2 d_1 + 1/2 (1/2 d_1 + 1/2 d_2) \geq 1/2 d_1 + 1/2 d_1^{1/2} d_2^{1/2} \geq \\ &\geq d_1^{1/2} (d_1^{1/2} d_2^{1/2}) = d_1^{3/4} d_2^{1/4}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{3}{4}(1-d_1) + \frac{1}{4}(1-d_2) &\geq (1-d_1)^{3/4}(1-d_2)^{1/4} \rightarrow 1 - (\frac{3}{4}d_1 + \frac{1}{4}d_2) \geq (1-d_1)^{3/4}(1-d_2)^{1/4} \\ &\rightarrow \frac{3}{4}d_1 + \frac{1}{4}d_2 \leq 1 - (1-d_1)^{3/4}(1-d_2)^{1/4}. \end{aligned}$$

$$1 - (1-d_1)^{3/4}(1-d_2)^{1/4} \geq \frac{3}{4}(1-d_1) + \frac{1}{4}(1-d_2) \geq d_1^{3/4}d_2^{1/4}.$$

В общем случае для m частных оценок d_j имеет место неравенство:

$$\left[1 - \prod_{j=1}^m (1-d_j)^{\lambda_j} \right] \geq \sum_{j=1}^m \lambda_j d_j \geq \prod_{j=1}^m d_j^{\lambda_j}.$$

Таким образом, средневзвешенное квазигеометрическое является оценкой сверху для средневзвешенного арифметического и средневзвешенного геометрического. При этом для частных оценок d_j экологической опасности территорий ПХГС все средневзвешенные величины (интегральные оценки) принимают значения из интервала $[0,1]$. Чем меньше значение средневзвешенного квазигеометрического (интегральной оценки некачественности ПХГС), тем ниже общая экологическая опасность территорий. В работах [4, 13] для содержательной интерпретации данной оценки предлагается использовать следующую вербально-числовую шкалу Харрингтона (табл. 2).

Таблица 2

Степень экологической опасности территорий по шкале Харрингтона

Ранг	Содержательное описание градаций	Численное значение
1	очень высокая	(0.8, 1)
2	высокая	(0.63, 0.8]
3	средняя	(0.37, 0.63]
4	низкая	(0.2, 0.37]
5	очень низкая	(0, 0.2]

Отметим, что величина $d_e = 1 - 1/e \approx 0,63$, которая является особой точкой в шкале Харрингтона, в тоже время является и единичным элементом в алгебре оценок экологической опасности. Действительно, т.к. $d_1 = 1 - \exp\{-\ln[1/(1 - -d_1)]\}$, то $d_1 \otimes d_e = d_1$.

Информационную базу исследования составили фондовые материалы, электронные тематические карты и космоснимки на изучаемую территорию, литературные источники и Интернет-ресурсы [14]. Сбор, обработка и анализ геоданных о современном геоэкологическом состоянии речных водосборов Воронежской области производились с использованием стандартных программно-инструментальных средств MS Excel, Statistica, ArcGIS и оригинального программного обеспечения для построения интегральной оценки эрозионной опасности территорий бассейновых ПХГС (рис. 1).

Границы 33 речных водосборов с площадью более 400 км², принадлежащих бассейну р. Дон, выделены на основе обработки находящейся в открытом доступе (http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/Eurasia/) цифровой модели рельефа в виде матрицы высот SRTM (Shuttle Radar Topographic Mapping) на территорию Воронежской области.

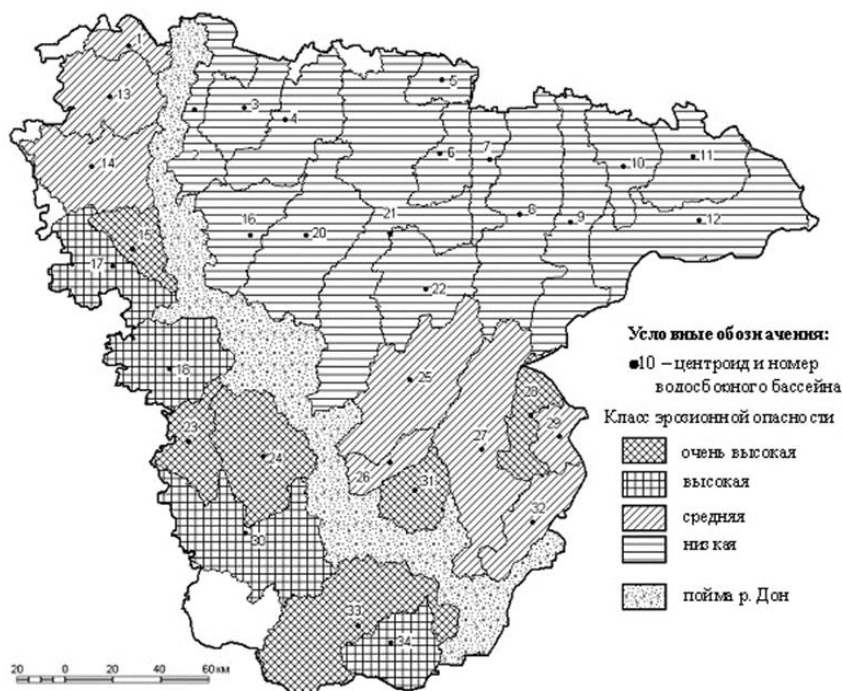


Рис. 1. Интегральная оценочная карта общей эрозионной опасности земель речных водосборов Воронежской области

Сбор и обработка гео данных произведены по технологии бассейнового гидрологического моделирования в ArcGIS. На основании полученных данных, а также с использованием цифровой топоосновы масштаба 1:100 000 определены их метрические характеристики (площади, центроиды), а также атрибутивные показатели условий и интенсивности развития линейной эрозии для выделенных водосборов. В частности, ПК «густота овражно-балочной сети, км/км²». Значения ПК «смытость почв с площади сельскохозяйственных угодий, % от площади водосбора» были определены по фондовым материалам и литературным источникам.

На рис. 2 дано графическое представление интегральной оценки экологической опасности территорий бассейновых ПХГС.

На основе интегральной оценки эрозионной деградации земель 33 речных водосборов Воронежской области, вычисленной по формуле (3), и использования шкалы Харрингтона (см. табл. 2) построена интегральная карта эрозионной опасности территорий бассейновых геосистем (см. рис. 1).

Данная оценка позволяет выделить речные водосборы, для которых в первую очередь необходимо разработать и реализовать комплекс программных противоэрозионных мероприятий, снижающих интенсивность эрозионной деградации земель.

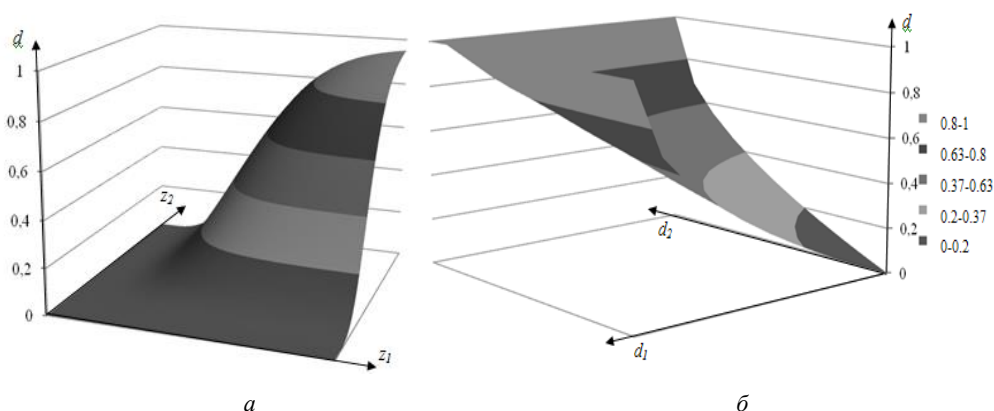


Рис. 2. Визуальное представление интегральной оценки эрозионной деградации территорий речных водосборов Воронежской области в шкале Харрингтона: *а* – z_1 – нормированный показатель y_1 «смытость почв с площади с.-х. угодий»; z_2 – нормированный показатель y_2 «густота овражно-балочной сети»; *б* – d_1 – частная оценка по показателю «смытость почв с площади с.-х. угодий»; d_2 – частная оценка по показателю «густота овражно-балочной сети»

В результате проведенного исследования разработан и апробирован на примере Воронежской области научно-методический аппарат квалиметрического подхода к построению неаддитивной интегральной оценки экологической опасности территорий ПХГС, которая является средневзвешенной «квазигеометрической» величиной. Методика построения данной оценки характеризуется оригинальным способом формирования нелинейных (неаддитивных) частных и интегральной оценок, имеющих вероятностный смысл, что позволяет квалифицированно измерять и содержательно интерпретировать общую экологическую опасность территорий ПХГС в универсальной вербально-числовой шкале Харрингтона.

Литература

1. Дмитриев В.В. Определение интегрального показателя состояния природного объекта как сложной системы // Общество. Среда. Развитие, 2009, № 4, с. 146-165.
2. Зибров Г.В., Умывакин В.М., Матвеев Д.А. Геоэкологическая квалиметрия природно-хозяйственных территориальных систем // Экологические системы и приборы, 2011, № 5, с. 3-9.
3. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа. – СПб.: Изд-во СПб. гос. техн. ун-та, 1999. – 512 с.
4. Карлин Л.Н., Музалевский А.А. Рискологические исследования в РГГМУ // Безопасность жизнедеятельности, 2011, № 2, с. 5-19.
5. Каплинский А.И., Руссман И.Б., Умывакин В.М. Алгоритмизация и моделирование слабоформализованных задач выбора наилучших вариантов систем. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1991. – 168 с.
6. Колмогоров А.Н. Избранные труды. Математика и механика. – М.: Наука, 1985. – 470 с.
7. Кочуров Б.И. Экодиагностика и сбалансированное развитие. – М.-Смоленск: Маджента, 2003. – 384 с.
8. Умывакин В.М. Интегральная эколого-хозяйственная оценка и управление земельными ресурсами в регионе. – Воронеж: Воронеж. гос. пед. ун-т, 2002. – 178 с.

9. Умывакин В.М., Швец А.В., Гедзенко М.О. Квалиметрия экологической опасности территорий военных природно-техногенных систем // Научные технологии, 2012, т. 13, № 3, с. 34-39.
10. Умывакин В.М., Пахмелкин А.В., Иванов Д.А. Геосистемный анализ эрозионно-экологической ситуации на территории речных водосборов для управления устойчивым природопользованием // Тр. науч.-исслед. ин-та геологии Воронеж. гос. ун-та, вып. 67. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2012. – 81 с.
11. Уч. зап. РГГМУ, № 24, с. 93-100.
12. Потапов А.И., Воробьев В.Н., Карлин Л.Н., Музалевский А.А. Мониторинг, контроль, управление качеством окружающей среды: науч. и учеб.-метод. справ. пособие: в 3 ч. – СПб.: РГГМУ, 2002. Ч. 3. Оценка и управление качеством окружающей среды, 2005. – 598 с.
13. Шитиков В.Г., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. – М.: Наука, 2005. 281 с.
14. Harrington E.C.Jr. The desirability function // Industrial quality control., 1965, vol. 21, № 10, p. 494-498.

Military Educational-Research Centre of Air Force «Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin» (Voronezh)

Н.Л. Гагулина

ЭВОЛЮЦИЯ КОНЦЕПЦИЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В ЭКОНОМИЧЕСКОЙ НАУКЕ

N.L. Gagulina

EVOLUTION OF TRANSFORMATION CONCEPTS OF IN ECONOMIC SCIENCE

Институт экономической науки основывается на достижениях, сформулированных в конкретном историческом периоде и при определенных обстоятельствах. Эволюция концепций трансформации в экономике тесно связана с технологическими и институциональными преобразованиями в экономике.

Ключевые слова: концепция, трансформация, экономическая наука.

Institute of economics is based on the achievements outlined in a particular historical period and under certain conditions. Evolution of transformation concepts in economics is closely linked to technological transformation in the capitalist economic system.

Key words: conception, transformation, economic science.

Трансформация общественного блага это область экономической науки, где предстоит поставить и решить ряд задач, продиктованных сдвигами в институциональной структуре современной экономики. Возможность изучения проблемы трансформации общественного блага представилась благодаря существованию в экономической теории методологического плюрализма, который признает невозможность окончательного выбора между теориями и предполагает их сосуществование.

В западной экономической мысли выделяют два периода в развитии концепций трансформации – послевоенный, который завершился к середине 60-х годов и современный, продолжающийся до настоящего времени.

В послевоенном периоде прослеживается нацеленность экономической мысли на разработку таких моделей капитализма, которые укрепили бы его жизнеспособность. Изменения системного характера, смена моделей общественного развития в концепциях трансформации аргументировали:

- выведение трансформации из сдвигов в производительных силах (в организации инновационного процесса, в отраслевой структуре, в сложности и концентрации производства, в технике и технологии);

- стремление объяснить сдвиги политическими, идеологическими, культурными факторами, связанными с демократизацией, гуманизацией, повышением образовательного уровня и другими социально-экономическими процессами.

Й. Шумпетер в своей книге «Капитализм, социализм и демократия» развил идею о неизбежном в перспективе саморазрушении капитализма и эволюционном переходе к «институциональной структуре, где контроль над средствами производства и над самим производством принадлежит какой-либо центральной власти» [7].

Саморазрушение ряда сложившихся форм капитализма, тем не менее, не доказывает неизбежность самоликвидации капитализма как системы. Дальнейшее развитие капиталистической системы показало, что концепция Й. Шумпетера зафиксировала перерождение капитализма в качественно новую фазу, которая хорошо отражена в концепции «третичного сектора» английского экономиста К. Кларка и французского – Ж. Фурастье. Данная концепция базируется на реальных закономерностях, отражающих гигантский сдвиг в общественном разделении труда, связанный с ускоренным ростом совокупности отраслей, удовлетворяющих массовую потребность в разностороннем обслуживании населения, возникшую на базе роста эффективности производства и реальных доходов.

В связи с быстрым увеличением доходов занятого населения, насыщением спроса в промышленных товарах, обусловленных действием закона возрастающей производительности по мере увеличения масштабов производства в обрабатывающей промышленности, имеет место последующее переключение растущей доли занятости и спроса на сферу услуг. За счет распространения малого предпринимательства происходит общее укрепление позиций частной собственности и развитие конкуренции – главных институтов рыночной экономики, безработица снижается, доходы наемного труда и мелкого бизнеса выравниваются.

Концепция К.Кларка–Ж.Фурастье исчерпала себя по истечении двадцатилетнего периода, когда стало ясно, что доминирующая роль промышленности в экономике сохраняется, а сфера услуг становится все более разнородной, что не позволяет говорить о ее общих закономерностях. Ограниченность структурно-отраслевого подхода данной концепции заключается в том, что он не позволяет раскрыть внутреннюю логику развития производительных сил.

С середины 60-х годов и по настоящее время идет поиск новых, высших форм капитализма. Это нашло отражение в совершенно иных концепциях трансформации, которые условно можно назвать плюралистическими и асистемными. Вопрос о новой модели капитализма уже не стоит, а авторы концепций трансформации ориентированы на учет максимально возможного количества разнонаправленных факторов системных изменений, полагая каждый из них относительно автономным [3].

Поэтому на смену концепции «третичного сектора» приходит социально-телеологический подход, где в качестве фактора системных изменений рассматриваются новые социальные цели. Например, в описательной концепции стадий экономического роста У. Ростоу, активная самостоятельная роль фактора изменения в производительных силах отводится общественным потребностям. Экономический рост обусловлен сменой целевой направленности общества или, иначе – сменой систем общественных потребностей. К сменяющим друг друга целям У. Ростоу относит: ориентацию на традиции, на перемены и на экономический «рывок», на индустриализацию, на массовое потребление и,

наконец, на поиски качества жизни. Слабые стороны данной концепции – ее описательный характер, невозможность проследить общую закономерность в развитии.

В теориях индустриализма, следовавших за социально-телеологическим подходом, сделана попытка объяснить причины и описать механизм смены целевых установок общества. Наиболее яркие представители – Р. Арон, Дж. К. Гэлбрейт. Французский экономист и социолог Р. Арон считал, что «Трансформацией, рассматриваемой в качестве наиболее типичной для европейских обществ, является национализация многочисленных предприятий». Важное методологическое достоинство концепции нового индустриального общества Дж. К. Гэлбрейта – это выявление зависимости социальной структуры современного хозяйства от его технико-организационного строения и самостоятельное, активное воздействие этой структуры на технический базис с одной стороны, на экономические отношения и политический строй – с другой.

Научное наследие Дж. К. Гэлбрейта – та связующая нить, которая позволяет свести воедино концепции трансформации и общественных благ. Яркий пример – его работа «Справедливое общество: гуманистический взгляд» [4], где проблемы распределения доходов и власти, соотношения частного и государственного секторов в экономике, рассматриваются в качестве приоритетных проблем современного экономического развития.

Исследование антологии отечественной экономической мысли показало, что концепция трансформации, получившая развитие в нашей стране, исходит не из главенствующей роли технологических преобразований в системе хозяйства, а из таких основных принципов эволюционного развития систем, как преемственность, цикличность, целесообразность и других.

Основы отечественной теории трансформации были заложены А.А. Богдановым и находят отражение в его главном труде «Тектология – Всеобщая организационная наука». А.А. Богданов связывал трансформации с явлением кризиса, используя такой метод научного познания, как аналогия. Он впервые акцентировал внимание на том, что «Общественные науки обозначают понятием кризиса не только моменты переворотов или глубоких реформ, но также вообще периоды острых социальных болезней: кризисы перепроизводства, дороговизны, обострения классовой борьбы и т. п. В науках о неорганической природе под это понятие подводятся такие перемены в строении тел, как плавление, замерзание, кипение; «критическая» (от слова «кризис», а не от слова «критика»), например, температура кипения есть та, при которой жидкость неизбежно, независимо от других условий обращается в газ. В физике и химии есть целый ряд подобных «критических величин», т. е. величин, с которыми связана неустранимость кризиса. ... С внешней стороны определение кризиса просто и очевидно: это – смена организационной формы комплекса. Как ни мало оно само по себе дает, но из него вытекает одна важная характеристика понятия «кризиса»: его относительность» [1]. В дальнейшем идеи, изложенные А.А. Богдановым, получили развитие в трудах И.И. Лукинова [5].

Из работ И.И. Лукинова следует, что трансформация – это процесс, сопровождающий эволюцию экономических систем. В ходе трансформации происходит эволюция экономических структур, форм и способов деятельности, изменяется целевая направленность деятельности в масштабах экономики [2]. Глубина и длительность трансформации находятся под влиянием цикличности. Трансформацию в экономике и обществе можно рассматривать как сумму двух следующих друг за другом стадий: кризиса преобладающей системы и ее инновационного обновления или замены более новой, более жизнеспособной системой [8].

Несмотря на трудности в развитии российской науки после распада СССР – сокращение ее финансирования, кадровые потери [6], преемственность экономических знаний в целом не нарушилась, и эволюция концепций трансформации продолжается на качественно новом уровне.

Литература

1. *Богданов А.А.* Тектология. Всеобщая организационная наука. В 2-х кн. – М.: Экономика, 1989.
2. *Борисов А.Б.* Большой экономический словарь. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Книжный мир, 2007. – 860 с.
3. Всемирная история экономической мысли / МГУ им. М.В. Ломоносова. Т. 5. Теоретические и прикладные концепции развитых стран Запада (Послевоен. период) / С.П. Аукционек, А.М. Волков, С.К. Дубинин и др. – М.: Мысль, 1994. – 558 с.
4. *Гэлбрейт Дж.К.* Справедливое общество. Гуманистический взгляд // Новая постиндустриальная волна на Западе. Антология / Под ред. В.Л. Иноземцева. – М.: Academia, 1999. – 228 с.
5. *Лукинов И.И.* Эволюция экономических систем. – М.: Экономика, 2002. – 567 с.
6. *Лазар М.Г.* Социология науки в России: 20-30-е годы XX века // Уч. зап. РГТМУ, 2010, № 12.
7. *Шумпетер Й.А.* Капитализм, социализм и демократия / Пер. с англ. В.С. Автономова. – М.: Экономика, 1995. – 540 с.
8. *Яковец Ю.В.* Эпохальные инновации XXI века. – М.: Экономика, 2004. – 382 с.

СОЦИАЛЬНО- ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

М.В. Попова

КОМПЕТЕНЦИИ, КОМПЕТЕНТНОСТЬ И ИХ ФОРМИРОВАНИЕ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ: ИЗ ОПЫТА ДАНИИ

M.V. Popova

COMPETENCE AND THEIR USE IN THE LEARNING: DANISH CONTEXT

Статья носит методологический и методический характер. Раскрываются понятия «компетенции» и «компетентность», особенности их взаимодействия. Статья знакомит с исследованиями датских ученых в области изучения проблем компетентности и практикой применения этих понятий преподавателями в учебном процессе.

Ключевые слова: компетенции, компетентность, формирование компетенций в учебном процессе.

The article has methodological and didactical character. This is disclosed the definitions and understanding of competence. The article introduces the research of Danish scientists in the study of competence and practical example of the use competences in the education.

Key words: competence, competence in the learning process.

С середины 90-х годов понятие «компетенции», «компетентность» становится центральным в образовании и менеджменте многих стран. Международные организации, включая Евросоюз и ЮНЕСКО, используют понятие «компетенции», «компетентность» как ключевые понятия. Министерства образования разных стран разрабатывают списки компетенций, которыми должен овладеть обучающийся как в системе общего, так и в системе профессионального образования.

Понятия «компетенции», «компетентность» первоначально стали использовать в отношении профессиональной реализации человека, прежде всего, в теории управления, в менеджменте. Появление этих понятий было прямо связано с привлечением «человеческого ресурса» к повышению производительности труда на предприятиях, в бизнесе. Затем довольно быстро эти понятия вошли в обиход и стали применяться в отношении растущего человека: по отношению к ребенку, школьнику, студенту, взрослому. Появились такие понятия

как «профессиональная компетентность», «личностная компетентность», «социальная компетентность», «общая компетентность» и т.д.

Образовательные, социальные, производственные институты интуитивно выбирают «компетенции» и «компетентность» как понятия более объемные, и потому с большей вероятностью включающие те характеристики, которых нет в других понятиях, но которые более точно описывали бы феноменологию развития человека и систему его отношений с миром. «Популярность» понятий «компетентность» и «компетенции» в самых различных сферах человеческой деятельности диктует необходимость более детального определения сущностного содержания этих понятий и к более глубокому их пониманию.

В ситуации огромного общественного резонанса вокруг понятий «компетентность», «компетенции», многие университеты развернули научные и образовательные программы. В настоящий момент в Европе накоплен уже солидный опыт исследования данной проблематики. К наиболее авторитетным работам относятся следующие:

- коллективная монография «Компетентность в обучающемся обществе» английских авторов под ред. Джона Равена и Джона Стивенсона (J. Raven & J. Stephenson, 2001), изданная на английском языке;

- коллективная монография шведских авторов «Образование, компетенции и работа» под ред. Кеннета Абрахамсона (K. Abrahamsson, 2002), изданная на шведском языке;

- коллективная монография «Ключевые компетенции для успешной жизни и процветающего общества» международного коллектива авторов под ред. Доминики Ричен и Лауры Салганик (D. S. Rychen & L.H. Salganik, 2003), изданная на английском языке;

- монография немецкого ученого Дитера Гнаса «Компетентность: приобретение, запись, инструменты» (D. Gnahn, 2007, 2010), изданная на немецком языке и ее версия на английском языке (D. Gnahn, 2011);

- коллективная монография «Перспективы развития компетенций в международных исследованиях» под ред. Кнуда Иллериса (K. Illeris, 2009), изданная на английском языке;

- монография датского ученого Кнуда Иллериса «Компетентность: что, почему, как?» (K. Illeris, 2011, 2012), изданная на датском языке.

Заметим, что в датском, как и в английском, языке, по отношению к обсуждаемому феномену используется одно слово "kompetence", а не два, как в русском языке – компетенции и компетентность. Поэтому смысл слова "kompetence" меняется в зависимости от употребляемого контекста. В одном случае это слово имеет семантическое значение «компетентность», в другом – «компетенции». Смысловое употребление «компетенций» тоже имеет несколько значений: компетенция как элемент компетентности; компетенция как часть квалификации, компетенция как социально желательные качества личности [Попова, 2013].

Анализ научной литературы в отношении понятия «компетентность» позволяет сформулировать следующие его сущностные характеристики:

- компетентность – это то, что мы *можем* (описывается словами «мочь», «способность»);
- интегральный характер – человек проявляется в своей компетентности как *целостность*;
- применение знаний, квалификаций, компетенций в *конкретной* ситуации;
- эффективные *действия* (интеллектуальные или практические) в *новой* ситуации;
- рефлексия – компонент компетентности.

Изучая проблематику компетенций, компетентности, датский профессор Кнуд Иллерис в своей книге, посвященной этой теме, анализирует определения понятий «компетенция» и «компетентность», данные исследователями разных стран. В том числе, он приводит и мнения датских ученых. В частности, определение профессора Шульца Йоргенсен, которое формулируется следующим образом: понятие «компетентность» используется не тогда, когда человек освоил предметную область, но тогда, когда он может использовать свои профессиональные знания в соответствии с требованиями конкретной ситуации, в том числе неопределенной и непредсказуемой. Поэтому составляющими компетентности являются оценка ситуации и способность использовать в ней свои личностные качества" [Illeris, 2012, с. 34].

Профессор Бенте Йенсен дает свою формулировку этого понятия в несколько ином ракурсе: компетентный человек - это тот, который обладает определенными квалификациями и в состоянии успешно применять эти квалификации. Компетентность – это то, что позволяет нам находить верные решения в ситуации, результат развития которой заранее неизвестен. Можно быть хорошо квалифицированным, но некомпетентным [Illeris, 2012, с. 34].

Профессор Кнуд Иллирис тоже дает свое определение понятию «компетентность». «Компетентность – это интеллектуально и эмоционально детерминированное целостное качество личности вместе с ее возможностями и потенциалом, реализуемое через оценку и деятельность при решении конкретных задач в отношении известных и неизвестных ситуаций» [Illeris, 2012, с. 68].

Обобщая вышесказанное, подчеркнем, что в данных определениях «компетентность» – это то, что присвоено индивидом, личностью, профессионалом, субъектом присвоения. Овладение индивидом конкретными компетенциями, присвоение их, приводит к формированию компетентности человека в определенной области – предметной, социальной, личностной. Таким образом, компетентность – это новое качество целостной личности, встроенное в ее идентичность [Попова, 2013, с. 9-10].

Из вышеупомянутых определений, как и из совокупности многих других определений, наработанных учеными за 15 лет, специфика понятия компетент-

ность уже достаточно ясна. Однако, как справедливо замечает профессор Кнуд Иллерис, имеющиеся сегодня различные дефиниции понятия «компетентность» – это, обычно, короткие формулировки, которых недостаточно, чтобы понять содержание, сущность, смысл этого понятия. Поэтому нужен более глубокий анализ того, какие отношения и элементы составляют это понятие, что в нем особенного, важного, характерного по отношению к другим понятиям, которые применяются в этой области [Illeris, 2012, с. 37]. Профессор Кнуд Иллерис идет в своем многолетнем исследовании этой проблемы значительно дальше других исследователей. В своей книге «Компетентность: что, почему, как?», изданной в Дании в 2012 году, он представляет свою концепцию компетентности, которую можно считать наиболее полной и основательной на сегодняшний день. Модель компетентности, представленная автором в виде символа, получила название «Цветок компетентности». В «Цветке компетентности» автор собрал, суммировал и графически соединил в виде единой формы все элементы, характеризующие понятие компетентность. Описанию этой модели будет посвящена следующая статья.

Основными факторами формирования компетентности являются, как известно, обучение и образование. Формирование профессиональной компетентности детерминирует профессиональное образование молодого специалиста. В сфере образования, особенно в вопросах преподавания учебных предметов, важно не только определить сами понятия «компетенция» и «компетентность», но их взаимодействии друг с другом и с другими рядом расположенными понятиями, в первую очередь, такими как знания, умения, квалификация. Тем более что компетенции рассматриваются в директивах Министерств образования многих стран как набор квалификационных требований к образованию.

В качестве иллюстрации того, как соотносятся понятия «компетенции» и «компетентность» между собой и с учебными целями, рассмотрим на конкретном примере из опыта преподавания предмета «Маркетинг», изучаемого на экономических специальностях в Дании. Из стандарта образования по экономическим специальностям следует, что за время обучения у студентов в течение периода обучения должно сформироваться экономическое мышление. Это означает, что выпускник должен научиться думать как экономист и уметь видеть различные производственные проблемы с точки зрения экономики. Для формирования экономических компетенций во время изучения предмета «Маркетинг» разработано специальное пособие в электронной версии.

Электронная книга «Маркетинг», пишут авторы, «задумана как учебник для преподавания экономики с целью формирования соответствующих компетенций». Приведенный ниже пример взят из этого пособия.

Таблица. Матрица взаимосвязи между формируемыми компетенциями, компетентностью и целями учебного предмета «Маркетинг».

Как в приведенных примерах, так и в представленных выше дефинициях, ясно просматривается, что определяющим в понятии «компетентность» являет-

ся человеческий фактор. Именно такое коннотативное значение понятия «компетентность» прочитывается в предложениях датского национального «Совета по компетентности», являющимися вкладом датской группы разработчиков в международный проект «Дефиниции и отбор компетенции». В отчете названы следующие четыре «ядерных» компетентности, каждая из которых имеет по 2-3 внутренних индекса. Это - *умение учиться*, которое включает образование в конкретной области знаний, умение организовать образование и умение учиться в межкультурном образовательном пространстве; *способность и мотивацию к профессиональному и личностному росту*, в том числе к инновациям; *социальная компетентность*, включающая умение создать «сеть контактов» и взаимодействия, коммуникативную культуру и личностную ответственность; *способность решать задачи в широком смысловом контексте*, включающая умение фокусироваться на решении задачи и идентичность [Illeris, 2012, с. 25-26].

Компетенции в образовательном цикле «Экономика»	Цели учебного предмета «Маркетинг», страт А
Компетенции в области экономического мышления	Студенты должны уметь, быть способны определять факторы, влияющие на маркетинг компаний, предприятий, производств
Компетенции в области решения проблем	Студенты должны уметь, быть способны идентифицировать, формулировать и разрешать маркетинговые проблемы, связанные с дальнейшим развитием компании
Компетенции в области маркетингового моделирования	Студенты должны уметь, быть способны использовать маркетинговые экономические модели и объяснять их свойства.
Компетенции в области разработки обоснования маркетинга	Студенты должны уметь, быть способны разрабатывать маркетинговые экономические обоснования, в том числе, быть в состоянии объяснять взаимосвязь между рядом маркетинговых условий в заданном контексте.
Компетенции в области работы с информационными источниками	Студенты должны уметь, быть способны собирать, обрабатывать и представлять информацию о маркетинге компании, оценивать информацию, проверять ее достоверность и актуальность в заданном контексте.
Компетенции в области коммуникативной культуры	Студенты должны уметь, быть способны интерпретировать и презентовать маркетинговых условия в рамках фундаментальных экономических отношений
Компетенции в области работы с инструментарием	Студенты должны уметь, быть способны выбирать и применять релевантный инструментарий в информационных технологиях

Так же как и во многих других странах, в Дании последние 10–15 лет понятия «компетенции», «компетентность» широко обсуждаются в различных социальных институтах, учебных заведениях, центрах повышения квалификации, центрах занятости, профессиональных союзах. Так, «Национальный Совет по компетентности» был создан в 1998 г., в 2008 в стране был учрежден «Нацио-

нальный Центр по развитию компетенций». В 2010 г. вышел в свет документ Министерства образования «Датские квалификационные требования для обучения в течение всей жизни», регламентирующий набор компетенций в стандартах образования.

Дискурсивный анализ по проблеме определения и соотношения понятий, позволяет сделать следующие выводы. Понятие «компетентность» употребляется в научной литературе как более объемное и целостное, чем понятие «компетенция». Последнее понимается как конкретная и инструментальная единица «квалификации», расширяя границы этого понятия. Именно такое понимание закреплено в официальных документах Дании и России и принятых стандартах образования, где квалификационные требования к образованию описываются сегодня в категориях неизменной триады – знания, умения и компетенции [1, 5].

За рамками данной темы – определение понятий «компетенции» и «компетентность» – остаются интересные и важные вопросы о развитии и измерении компетенций, требующие не менее тщательного изучения, вопросы, на многие из которых уже сегодня есть ответы, в том числе, благодаря ученым Дании.

Литература

1. Национальная рамка квалификаций Российской Федерации. URL: <http://www.nark-rspp.ru/wp-content/uploads/%D0%9D%D0%A0%D0%9A.pdf> (Дата обращения 16 сентября 2013).
2. Попова М.В. Компетенции и компетентность: вопрос о соотношении понятий // Актуальн. проблемы изучения профес. мобильн. и правосозн. молодых спец.: Материалы международной конференции 27–28 сентября 2013. – СПб.: РПГГМУ, 2013, с. 5-12.
3. *Afsætning 2. Bregendahl, M., Østergaard, Birte Ravn* (red.) <http://afs2.systime.dk/> (Электронный ресурс, дата обращения 30 октября)
4. Competence in the Learning Society. J. Raven, J. Stephenson (ed.) New York: Peter Lang, 2001.
5. Den danske kvalifikationsramme for livslang læring – et redskab til at få overblik overuddannelser i Danmark. Kvalifikationsrammens opbygning. URL: <http://www.uvm.dk/Service/Publikationer/Publikationer/Uddannelse-og-undervisning-for-voksne/2010/Kvalifikationsramme/Kvalifikationsrammens-opbygning> (Официальный сайт Министерства Образования Дании. Дата обращения 16 сентября 2013).
6. Definition und Selection of Competencies (Электронный ресурс, дата обращения 16 сентября 2013) <http://www.oecd.org/edu/skills-beyond-school/41529556.pdf>
7. Dieter G. Kompetenzen – Erwerb, Erfassung, Instrumente. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag, 2010.
8. Illeris K. Competence. Hvad – Hvorfor – Hvordan? / Knud Illeris. – Frederiksberg: Samfundslitteratur, 2012. International Perspectives on Competence Development. K. Illeris (ed.), London, Routledge, 2009.
9. Key Competencies for a Successful Life and a Well-Functioning Society. D. S. Rychen, L.H. Salganik (ed.), Cambridge: Hogrefe and Huber Pub., 2003.
10. Utbildning, kompetens och arbete. K. Abrahamsson (red.). Lund: Studentlitteratur, 2002.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.» по мероприятию 1.5 "Проведение научных исследований коллективами под руководством приглашенных исследователей" Соглашение № 14.В 37.21.0278 «Психолого-педагогическое исследование профессиональной мобильности и правосознания молодых специалистов РФ и стран Скандинавии».

К.А. Сечина

**МОТИВАЦИЯ К УСПЕХУ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ МОЛОДОГО
СПЕЦИАЛИСТА В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО РЫНКА**

K.A. Sechina

**MOTIVATION TO SUCCEED AS A FACTOR OF DEVELOPMENT
OF THE PROFESSIONAL MOBILITY OF YOUNG SPECIALIST
IN THE CONDITIONS OF THE MODERN MARKET**

В статье рассматривается актуальная в современном обществе проблема профессиональной мобильности. Опираясь на разработки зарубежных и отечественных ученых-психологов, педагогов, социологов, автор изучает структуру понятия профессиональной мобильности, мотивационные факторы ее развития. Мотивация к успеху характеризуется важной «движущей силой» профессиональной мобильности молодого специалиста.

Ключевые слова: профессиональная мобильность, профессиональная мобильность молодого специалиста, мотивация, мотивация к успеху.

The actual problem of professional mobility in modern society is considered in this article. Relying on the development of foreign and Russian scientists and psychologists, pedagogues, sociologists, the author studies the structure of the concept of professional mobility, motivational factors of its development. Motivation to succeed is characterized as an important "driving force" of professional mobility of young specialist.

Key words: professional mobility, professional mobility of young professionals, motivation, motivation to succeed.

Изменение условий современного рынка труда требуют от специалистов не только знаний, умений, опыта в определенной профессиональной деятельности, но и при необходимости готовности к смене ее вида, что обеспечивается их профессиональной мобильностью. На развитие мобильности в значительной мере повлиял Болонский процесс, который способствовал успешному трудоустройству многих выпускников вузов в Европе. Перед сферой образования стоят задачи подготовки высокопрофессиональных кадров, конкурентоспособных, компетентных и обладающих профессиональной мобильностью. Одним из важных условий достижения успеха в карьере является наличие у молодых специалистов мотивации профессиональной деятельности, оказывающей значительное влияние на эффективность их деятельности.

В последнее время научный интерес к феномену профессиональной мобильности достаточно высок (А.И. Архангельский, Т.В. Горюнова, Б.М. Игошев, Ю.И. Калиновский, Е.А. Никитина, С.К. Савицкий и др.).

В исследованиях встречается как «узкое» понимание профессиональной мобильности: перемещения между работодателями, между профессиями и шаги по карьерной лестнице, между различными видами контрактов, а также устройство на работу и уход с работы [Andersen, Naahr, Hansen, Holm-Pedersen, 2008,

с. 12], так и расширенное, – как подвижность, готовность к быстрому передвижению, действию, выполнению заданий.

В диссертации Т.И. Мясниковой «Развитие профессиональной мобильности в процессе профилизации подготовки будущих специалистов в вузе» (2010), профессиональная мобильность в отношении выпускника вуза рассматривается как один из этапов становления профессиональной мобильности специалиста. Понятие «профессиональная мобильность» определяется как «способность быстро и качественно осваивать смежные виды профессиональной деятельности и готовность к эффективной адаптации на современном рынке труда, обеспечивающие возможность оптимальной перестройки в новых условиях и конкурентоспособность будущего специалиста» [Мясникова, 2010, с. 6].

В настоящее время проблема формирования профессиональной мобильности многими исследователями рассматривается с позиции компетентностного подхода. По их мнению (Э. Ф. Зеер, Д. Мартенс, А. Шелтон), в основу формирования профессиональной мобильности будущих специалистов должны быть положены профессиональные компетенции, которые имеют широкий радиус действия и позволяют выходить за пределы одной группы профессий, профессионально и психологически подготавливают специалиста к освоению новых профессий, обеспечивают готовность к требованиям в профессиональной деятельности. Однако если формирование профессиональной компетентности будущих специалистов в вузе возможно только в рамках собственно учебного процесса, при условии соответствующей его организации, то для целенаправленного формирования у студентов профессиональной мобильности этого недостаточно.

Сегодня языковая компетенция должна восприниматься как важный элемент профессиональной компетенции. Начиная профессиональное образование или подготовку, молодые специалисты или взрослые должны обладать сформированной языковой компетенцией, позволяющей им выполнять профессиональные задачи и развивать навыки для дальнейшего самообразования.

По мнению ряда ученых (З.А. Решетова, А. М. Столяренко), основой профессиональной мобильности в современный период развития общества является развитое творческое мышление будущих специалистов.

При формировании профессиональной мобильности также важно учитывать правовые ориентации личности, которые связаны с оценкой личностью прав, свобод, обязанностей, предполагающей сопоставление правовых норм с собственными потребностями, интересами, мотивами, целью и правовой установкой [Есикова, 2010, с. 163-164].

С.В. Нужнова отмечает, что «профессиональная мобильность – это интегративное качество личности, объединяющее в себе: сформированную внутреннюю потребность в профессиональной мобильности, способности и знаниевую основу профессиональной мобильности, а также самоосознание личностью своей профессиональной мобильности сформированное на основе рефлексии го-

товности к профессиональной мобильности. Каждая из этих составляющих включает в себя подструктуры, развитие которых и приводит в конечном итоге к её формированию. Так в основе формирования потребности в профессиональной мобильности лежат: развитие мотивации самообразования, развитие мотивации достижения, формирование установки на самоактуализацию, установки на оптимистическое восприятие действительности, смены профессии. Способности к профессиональной мобильности включают в себя развитые когнитивные способности, креативность, дивергентность, критичность мышления. Знаниевая основа профессиональной мобильности складывается из общеобразовательных знаний, общепрофессиональных знаний, профессиональных знаний, ключевых квалификаций и компетенций, способности к быстрому переносу знаний» [Нужнова, 2005].

Трудно не согласиться с точкой зрения Л.И. Амировой [Амирова, 2009], которая исходит из психолого-акмеологического подхода к понятию профессиональной мобильности. По ее мнению, профессиональная мобильность является одним из высших ориентиров саморазвития, наличие которого свидетельствует о высокой социально-профессиональной подготовке специалиста. Вместе с тем, данное личностное образование может быть продуктивным, то есть иметь позитивную направленность только в том случае, если базируется на соответствующей ценностной основе, а также согласуется с профессиональной компетентностью и личностными смыслами специалиста. При таком понимании вопроса карьерный рост выступает не как самоцель, а как один из способов самореализации, к числу которых можно также отнести профессиональное самосовершенствование, вовлеченное в процесс исполнения усложняющихся рабочих задач, их насыщении элементами творчества.

Индивидуальные характеристики, такие как возраст и пол, как известно, играют важную роль в склонности к смене работы. Возрастной фактор может иметь большое значение в объяснении различия между людьми, а также может быть весьма значимым фактором, который необходимо принимать во внимание в связи со старением населения Европы. Гендерные различия в мобильности могут быть вызваны различными ролями, которые мужчины и женщины играют в семье, и, в частности, различиями в доступности дошкольных учреждений для детей по всей Европе [Andersen, Naahr, Hansen, Holm-Pedersen, 2008, с. 17].

Профессиональная мобильность, как правило, положительно связана с объективным успехом в карьере, который сильно зависит от мотивации к движению. Мотивация выступает условием профессиональной активности, позволяет судить о субъективной значимости для специалиста своей профессии, повышать качество работы, прогнозировать ее результативность. В связи с этим проблема формирования мотивации к успеху как фактора развития профессиональной мобильности компетентного молодого специалиста в условиях современного рынка представляется актуальной.

Зарубежные исследователи Чарльз О'Рейлли и Дженнифер Чатман [O'Reilly, Chatman, 1994] оценивали влияние мотивации и способностей на ран-

ний успех в карьере на примере выпускников-магистров делового администрирования (МВА) в первые годы их карьеры. Они считают, что эффективность деятельности является совместным действием двух важных индивидуальных характеристик: общих когнитивных способностей и мотивации. Мотивацию они понимают как готовность человека затрачивать усилия и продолжать деятельность, в то время как способность – это возможность человека выполнять определенные задачи. Как мотивация, так и способность являются необходимыми, но ни одна из них сама по себе не может быть достаточной для высокой эффективности деятельности. Высоко мотивированному человеку может не хватать необходимых способностей для успеха, тогда как человеку способному может не хватать мотивации к успеху. Результаты их исследования показывают, что сочетание высокого уровня общих когнитивных способностей и мотивации в значительной степени связаны с более ранним успехом в карьере. Выпускники-магистры, которые были сообразительнее и работали усерднее, были более успешны в поисках работы после окончания учебного заведения, зарабатывали больше, имели более быстрый рост заработной платы, и получили продвижение по службе в начале своей карьеры. Таким образом, эти данные свидетельствуют о том, что изучение мотивации и когнитивных способностей, влияющих на поведение человека, может иметь решающее значение для профессиональной мобильности. При таком подходе к изучению профессиональной мобильности ключевым понятием является успех, которое соотносится с прогрессом, реализацией целей, эффективностью деятельности, поиском основных ценностей, умением прогнозировать будущий исход событий. В связи с этим мотивация к успеху выступает значимым фактором развития профессиональной мобильности.

В общем смысле мотивация рассматривается как феномен, являющийся движущей силой поведения человека. Впервые слово «мотивация» употребил А. Шопенгауэр в статье «Четыре принципа достаточной причины». Затем этот термин прочно вошел в психологический обиход для объяснения причин поведения человека, животных.

В настоящее время мотивация как психическое явление трактуется по-разному. В одном случае – как совокупность факторов, поддерживающих и направляющих, т.е. определяющих поведение (К. Madsen), в другом случае – как совокупность мотивов (К.К. Платонов), в третьем – это побуждения, вызывающие активность организма и определяющие ее направленность. Кроме того, мотивация рассматривается как процесс психической регуляции конкретной деятельности (М.Ш. Магомед-Эминов), как процесс действия мотива и как механизм, определяющий возникновение, направление и способы осуществления конкретных форм деятельности, как совокупная система процессов, отвечающих за побуждение и деятельность (В.К. Вилюнас) [Вилюнас, 2006].

Теоретический анализ показывает, что изучение мотивации может идти в рамках исследований потребностей, влечений, желаний, целей или склонностей. Познания и убеждения людей играют доминирующую роль в мотивации.

Убеждения сказываются на ценностях, ожидании будущих результатов и апперцепции окружающих событий. Например, литература по мотивации достижения показывает, что лица с высокой «потребностью в достижении» научаются стремлению достигать совершенства в выполнении уже в раннем возрасте. Уверенность в своих силах является ключевым аспектом их мотивационной тенденции. Многие теоретики утверждают, что люди функционируют эффективно, когда они верят в возможность достижения положительных результатов и когда они считают, что обладают контролем над характером тех событий, которые с ними происходят. Одна из первых теорий, подчеркивавших важность воспитания у детей уверенности в себе и бесстрашия (готовности браться за новые вещи и прилагать усилия даже тогда, когда успех не гарантирован), была предложена А. Адлером [Корсини, Ауэрбах, 2006, с. 472].

Существует еще один план исследования мотивации, связанный с изучением ее видов, как конечного результата работы мотивационной системы в целом. Большинство методик, направленных на исследование мотивации, разработаны именно исходя из данного ракурса проблемы. В частности, для оценки мотивации человека к успеху и мотивации к избеганию неудач широко используется методика Т. Элерса, исследования результатов которой показывают, что индивиды, у которых преобладает мотивация к успеху, предпочитают средний или низкий уровень риска. Им свойственно избегать высокого риска. При сильной мотивации к успеху, надежды на успех обычно скромнее, чем при слабой мотивации к успеху, однако они много работают для достижения успеха, стремятся к успеху. Индивиды с низким уровнем мотивации к успеху проявляют неуверенность в себе, тяготеют выполняемой работой. Выполнение трудных заданий вызывает у них дискомфорт [Райгородский, 2008].

Индивиды, у которых преобладает мотив избегания неудач, предпочитают малый, или, наоборот, чрезмерно большой риск, где неудача не угрожает престижу. У них, как правило, высокий уровень защиты и страха перед несчастными случаями. И они чаще попадают в подобные неприятности. Доминирование у человека мотива избегания неудач приводит к занижению самооценки и уровню притязаний. Повторяющиеся неудачи могут привести такого человека в состояние привычной подавленности, к устойчивому снижению веры в себя и к хронической боязни неудач. У таких людей, как правило, низкий уровень развития мотивации достижения [Там же].

В целом, можно сказать, что развитие профессиональной мобильности определяется различными факторами, значимая роль среди которых принадлежит мотивации, характеризующей специалиста не просто как профессионала, а прежде всего как личность. Во многом этот процесс ситуативно обусловлен, так как зависит от личных особенностей и сложившейся обстановки на рынке труда в настоящий момент, но он также может иметь целенаправленный характер, протекать последовательно, иметь конечный результат. В связи с этим актуализируется значение мотивации как личностного фактора развития профес-

сиональной мобильности, а именно от мотивации к успеху в профессиональной деятельности. Однако для того чтобы профессиональная мобильность молодого специалиста имела положительную направленность, приносила удовлетворение, она должна основываться на ценностях, профессиональной компетентности, быть мотивирована возможностью профессиональной самореализации и самосовершенствования, включать творческую активность и т.д. Значимость мотивации к успеху возрастает в связи с ориентацией образования на воспитание инициативных, ответственных, организованных, творческих, ориентированных на результат личностей.

Литература

1. *Амирова Л.И.* Развитие профессиональной мобильности педагога в системе дополнительного образования: Автореф. дис. ... док. пед. наук. – Уфа, 2009. – 33 с.
2. Большой психологический словарь / Под ред. Б.Г. Мещерякова, В.П. Зинченко. – М., 2008.
3. *Вилюнас В.* Психология развития мотивации. – СПб.: Речь, 2006. – 458 с.
4. *Есикова Т.В.* Формирование правовых ориентаций личности // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 13, с. 158-164.
5. *Корсини Р., Ауэрбах А.* Психологическая энциклопедия. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 1876 с.
6. *Мясникова Т.В.* Развитие профессиональной мобильности в процессе профилизации подготовки будущих специалистов в вузе: Автореф. дис. ... канд. пед. наук. – Екатеринбург, 2010. – 192 с.
7. *Нужнова С.В.* Сущность и структура понятия профессиональной мобильности в современном обществе // <http://www.rusnauka.com/Pedagog/185.html>.
8. *Райгородский Д.Я.* (ред.-сост.). Практическая психодиагностика. Методики и тесты. – Самара: БАХРАХ-М, 2008. – 672 с.
9. *Andersen, T., Haahr, J. H., Hansen, M.E., Holm-Pedersen, M.* Job mobility in the European Union: Optimising its Social and Economic Benefits. Final report. Policy and Business Analysis. – Danish Technological Institute. – April, 2008. – 158 p.
10. *O'Reilly, C., Chatman, J.* Working Smarter and Harder: A Longitudinal Study of Managerial Success // Administrative Science Quarterly, 39. – December, 1994, p. 603-627.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.» по мероприятию 1.5 "Проведение научных исследований коллективами под руководством приглашенных исследователей" Соглашение № 14.В 37.21.0278 «Психолого-педагогическое исследование профессиональной мобильности и правосознания молодых специалистов РФ и стран Скандинавии».

Хроника

21 ноября 2013 г. в университете состоялось заседание расширенного Совета учебно-методического объединения вузов РФ по образованию в области гидрометеорологии, в котором приняло участие более 50 представителей из 25 образовательных и научных организаций России, а также Республики Казахстан и Республики Азербайджан.

3 декабря РГГМУ участвовал в работе Всероссийской конференции «Образование – книга – культура». В рамках конференции был организован смотр – конкурс учебной и научной литературы. Наш учебник А.М. Догановского «Гидрология суши» был удостоен Диплома 1 степени в номинации «Лучшая книга на обычном носителе».

Список авторов

Акимова Ирина Ивановна, нач. отд. активных воздействий и контроля Ставроп. военизированной службы по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы
Ванкевич Роман Евгеньевич, с.н.с. НИС РГГМУ
Воронин Алексей Анатольевич, мл. науч. сотр. "ВУНЦ ВВС ВВА"
Гаврилов Илья Сергеевич, асп. каф. гидрогеологии и геодезии РГГМУ
Гагулина Наталья Львовна, канд. физ.-мат. наук, зам. нач. УМУ по качеству и нормативному обеспечению РГГМУ
Говорина Ирина Александровна, магистр каф. климатологии и мониторинга окруж. среды СПбГУ
Григорьева Елена Анатольевна, к.б.н., ведущий науч. сотр. Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН
Гусакова Мария Андреевна, асп. каф. метеопрогнозов РГГМУ
Драбенко Вадим Анатольевич, к.э.н., доц., нач. военной каф. РГГМУ
Дружинин Павел Васильевич, д.э.н., доц., зав. отд. моделирования и прогнозирования регионального развития Института экономики Карельского НЦ РАН
Ермина Светлана Владимировна, асп. каф. гидрогеологии и геодезии РГГМУ
Ермакова Татьяна Сергеевна, м.н.с. НИСа РГГМУ
Ефимова Любовь Константиновна, к.ф.-м. н., ст. науч. сотр. Института озераведения
Иванов Борис Вячеславович, к.г.н., доц. каф. океанологии СПбГУ
Карлин Лев Николаевич, д-р физ.-мат. наук, проф., ректор РГГМУ
Клейменова Алина Викторовна, гл. спец. АНО "Агентство АТТЕХ"
Колесников Иван Андреевич, студ. 5 курса РГГМУ
Колосков Борис Павлович, д.ф.-м.н., зам. дир. АНО "Агентство АТТЕХ"
Корнеев Виктор Петрович, к.т.н., директор АНО "Агентство АТТЕХ"
Коузов Сергей Александрович, науч. сотр. каф. зоологии позвоночных СПбГУ
Кузьмин Вадим Александрович, д.т.н., зав. каф. гидрогеологии суши РГГМУ
Лозовой Василий Иванович, нач. Ставропольской военизированной службы по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы
Лукьянов Сергей Васильевич, доц. каф. океанологии РГГМУ
Мандрыка Ольга Владимировна, доц. каф. соц.-гум. наук РГГМУ
Михайлов Владимир Владимирович, д.т.н., проф., нач. гидрометеорол. фак-та "ВУНЦ ВВС ВВА"
Моцаков Максим Анатольевич, зав. лаб. кафедры метеопрогнозов РГГМУ
Полякова Анна Александровна, м.н.с. НИСа РГГМУ
Попова Маргарита Владимировна, к.п.н., науч. сотр. Ин-та психол. и образ-я Роскильдск. ун-та
Принцевская Юлия Вячеславовна, студ. 5 курса, техник НИСа РГГМУ
Проданов Тимофей Петрович, инженер НИСа РГГМУ
Рошет Николай Андреевич, асп. каф. гидрогеологии и геодезии РГГМУ
Рудакова Юлия Леонидовна, инженер НИСа РГГМУ
Румянцев Владислав Александрович, д.г.н., директор института Озераведения
Священников Павел Николаевич, к.г.н., доц. каф. климатол. и мониторинга окруж. среды СПбГУ
Сечина Ксения Александровна, к.п.н., тренер английского языка в ООО "Smartlingua"
Симановская Марина Владимировна, студ. 5 курса, техник НИСа РГГМУ
Смышляев Сергей Павлович, д-р физ.-мат. наук, проф. каф. метеорологических прогнозов РГГМУ
Соколова Дарья Вадимовна, студ. 5 курса, техник НИСа РГГМУ
Соломатин Дмитрий Петрович, с.н.с. НИСа РГГМУ
Тоцакова Галина Геннадьевна, вед. метеоролог Костромск. ЦГМС фил. ФГБУ "Центральное УГМС"
Умывакин Василий Митрофанович, д.г.н., доц., ст. науч. сотр. "ВУНЦ ВВС ВВА"
Хон Вячеслав Чуненович, к.ф.-м.н., ст. науч. сотр. Института физики атмосферы РАН
Чичик Наталья Яковлевна, нач. отд. гидрометеобеспечения ФГБУ «Дальневосточное УГМС»
Чусов Алексей Николаевич, к.т.н., доц. С.-Петербургского Политехнического университета
Швец Алексей Владимирович, науч. сотр. "ВУНЦ ВВС ВВА"
Шилин Михаил Борисович, д.г.н., проф. каф. промысл. океанол. и охраны природн. вод РГГМУ

**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: [Иванов, 1995]. Если при цитировании делается ссылка на конкретную цитату, формулу, теорему и т.п., следует указывать номер страницы: [Иванов, 1995, с. 23]. При наличии ссылок на несколько работ одного автора, опубликованных в одном году, рядом с годом издания указывается буква русского алфавита, показывающая порядок данного издания в списке литературы: [Иванов, 1995а, 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.

Подписную 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

УЧЕННЫЕ ЗАПИСКИ
РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
№ 31

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редактор И.Г. Максимова
Компьютерная верстка Н.И. Афанасьевой

ЛР № 020309 от 30.12.96.

Подписано в печать 30.12.13. Формат 70×100 ¹/₁₆. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 15,4. Тираж 500 экз. Заказ № 247.
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
