

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал
Северо-Кавказского федерального
университета

ISSN 2308–4758



Выпуск № 3, 2021 г.

Выходит 4 раза в год

	«Наука. Инновации. Технологии» Научный журнал Северо-Кавказского федерального университета
Учредитель	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»
Главный редактор:	д.г.н., проф. Белозеров В.С.
Заместитель главного редактора:	д.г.н., проф. Щитова Н.А.
Международный редакционный совет:	Абшаев М.Т., д-р физ.-мат. наук, профессор (Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик); Воробьева О.Д., д. экон. наук, профессор (Московский государственный университет, г. Москва); Лиховид А.А., д-р геогр. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Герасименко Т.И., д-р геогр. наук, профессор (Оренбургский гос. университет, г. Оренбург); Диневич Л.А., д-р физ.-мат. наук, профессор (Тель-Авивский университет, г. Тель-Авив); Жакин А.И., д-р физ.-мат. наук, профессор (Юго-Западный гос. университет, г. Курск); Зырянов А.И., д-р геогр. наук, профессор (Пермский государственный университет, г. Пермь); Ибрагимов А.И., д-р геогр. наук, профессор (Эгейский университет, Турция, г. Измир); Хани А.А.К., канд. техн. наук, профессор (Иорданский университет науки и технологии, Ирбид); Коляда А.А., д-р физ.-мат. наук, доцент (Белорусский гос. университет, г. Минск); Молодикова И.Н., канд. геогр. наук (Центрально-Европейский университет, г. Вена); Нефедова Т.Г., д-р геогр. наук, вед. науч. сотрудник РАН (ИГ РАН, г. Москва); Панин А.Н., к.геогр.н., доц. (Московский государственный университет, г. Москва); Рязанцев С.В., член-корреспондент РАН, д. экон. наук, профессор (Институт социально-политических исследований РАН, г. Москва); Тикунов В.С., д-р геогр. наук, профессор (Московский государственный университет, г. Москва)
Редакционная коллегия:	Белозеров В.С., д-р геогр. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Бекетов С.Б., д-р техн. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Гасумов Р.А., д-р техн. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Керимов А.Г., д-р техн. наук, доцент (СКФУ, г. Ставрополь); Губарева Л.И., д-р биол. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Джандарова Т.И., д-р биол. наук, доцент (СКФУ, г. Ставрополь); Диканский Ю.И., д-р физ.-мат. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Ерин К.В., д-р физ.-мат. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Закинян А.Р., д-р физ.-мат. наук, доцент (СКФУ, г. Ставрополь); Закинян Р.Г., д-р физ.-мат. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Котти Б.К., д-р биол. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Лукьянов В.Т., д-р техн. наук, доцент (СКФУ, г. Ставрополь); Лысенко А.В., д-р геогр. наук, доцент (СКФУ, г. Ставрополь); Полян П.М., д-р геогр. наук, вед. науч. сотрудник РАН (ИГ РАН, г. Москва); Разумов В.В., д-р геогр. наук, профессор (главный научный сотрудник ОАО «Российские космические системы», г. Москва); Тимченко Л.Д., д-р ветеринар. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Толпаев В.А., д-р физ.-мат. наук, доцент (СКФУ, г. Ставрополь); Федорова Н.Г., д-р техн. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Шальнев В.А., д-р геогр. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Щитова Н.А., д-р геогр. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Соловьев И.А. (к. геогр. н., доцент (СКФУ, г. Ставрополь), Мишвелов Е.Г., д-р биол. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь), Бадов А.Д., д-р геогр. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь)
Ученый секретарь:	к. геогр. н., доц. Соловьев И.А.
Свидетельство о регистрации	ПИ № ФС77–52723 от 8.02.2013
Подписной индекс	Объединённый каталог. ПРЕССА РОССИИ. Газеты и журналы: 94011
Журнал	включен в БД «Российский индекс научного цитирования», перечень ВАК. Журнал «Вестник Ставропольского государственного университета» перерегистрирован в журнал «Наука. Инновации. Технологии» в связи с переименованием учредителя.
Адрес	355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1
Телефон	(8652) 33–07–32
Сайт	www.ncfu.ru
E-mail:	nit_ncfu@mail.ru
ISSN	2308–4758

	«Science. Innovations. Technologies» North Caucasus Federal University
Founder	Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «North Caucasus Federal University»
Chief Editor:	Doctor of Geographical Sciences, prof. Belozеров V.S.
Deputy Chief Editor:	Doctor of Geographical Sciences, prof. Shchitova N.A.
International Editorial Board:	Abshaev M.T., Doctor of Phys.-Math. Sciences, (High Mountain Geophysical Institute, Nalchik); Vorobieva O.D., Doctor of Economics Sciences, Professor (Moscow State University, Moscow); Likhovid A.A., Dr. Geogr. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Bondar T.P., Dr. med. Sciences, Professor (Stavropol Medical University, Stavropol); Gerasimenko T.I., Dr. of Geogr. Sciences, Professor (Orenburg State University, Orenburg); Dinevich L.A., Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor (Tel Aviv University, Tel Aviv); Zhakin A.I., Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor (South-West State University, Kursk); Zyryanov A.I., Dr. of Geogr. Sciences, Professor (Perm State University, Perm); Ibragimov A.I., Dr. of Geogr. Sciences, Professor (Aegean University, Turkey, Izmir), Hani A.A.K., Cand. tech. Sciences, Professor (Jordan University of Science and Technology, Irbid); Kolyada A.A., Doctor of Phys.-Math. Sciences, Associate Professor (Belarusian State University, Minsk); Molodikova I.N., Cand. geogr. Sciences (Central European University, Vienna); Nefedova T.G., Dr. Geogr. sciences, led. scientific. RAS employee (IG RAS, Moscow); Panin A.N., Ph.D., Assoc. (Moscow State University, Moscow); Razumov V.V., Dr. of Geogr. Sciences, Professor (JSC «Russian Space Systems», Moscow); Ryazantsev S.V., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics Sciences, Professor (Institute of Social and Political Research RAS, Moscow); Tikunov V.S., Dr. of Geogr. Sciences, Professor (Moscow State University, Moscow)
Editorial team:	Belozеров V.S., Dr. of Geogr. Sciences, Professor (NCFU, Stavropol); Beketov S.B., Dr. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Gasumov R.A., Dr. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Kerimov A.G., Dr. Sciences, Associate Professor (NCFU, Stavropol); Bondar T.P., Dr. med. Sciences, Professor (Stavropol Medical University, Stavropol); Gubareva L.I., Dr. of Biol. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Dzhandarova T.I., Dr. of Biol. Sciences, Associate Professor (NCFU, Stavropol); Dikansky Yu.I., Doctor of Phys.-Math. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Erin K.V., Doctor of Phys.-Math. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Zakinyan A.R., Doctor of Phys.-Math. Sciences, Associate Professor (NCFU, Stavropol); Zakinyan R.G., Doctor of Phys.-Math. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Cottie B.K., Dr. of Biol. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Lukyanov V.T., Dr. Sciences, Associate Professor (NCFU, Stavropol); Ly-senko A.V., Dr. of Geogr. Sciences, Associate Professor (NCFU, Stavropol); Poly-an P.M., Dr. of Geogr. sciences, led. scientific. RAS employee (IG RAS, Moscow); Razumov V.V., Dr. of Geogr. Sciences, Professor (Chief Researcher of JSC Russian Space Systems, Moscow); Timchenko L.D., Doctor of Veterinary Medicine. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Tolpaev V.A., Doctor of Phys.-Math. Sciences, Associate Professor (NCFU, Stavropol); Fedorova N.G., Dr. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Shalnev V.A., Dr. of Geogr. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Shchitova N.A., Dr. of Geogr. Sciences, Professor (NCFU, Stavropol); Soloviev I.A. (Ph.D. Geogr. sciences, Associate Professor (NCFU, Stavropol); Mishvelov E.G., Doctor of Biological Sciences, Professor (NCFU, Stavropol), Badov A.D., Dr. of Geogr. Sciences, Professor (NCFU, Stavropol)
Scientific Secretary:	Ph.D. Geogr. sciences, Assoc. prof. Soloviev I.A.
Certificate	ПН № ФС77–52723 dated February 8th 2013.
The Index	The Journal is included in the DB «Russian index of the scientist quoting» The Journal is included in the DB «Russian index of the scientist quoting» The journal «Bulletin of the Stavropol state University» renamed in the journal «Science. Innovations. Technologies» due to renaming of the founder.
Adress	355017, Stavropol, Pushkin street, 1
Phone	(8652) 33–07–32
Site	www.ncfu.ru
E-mail:	nit_ncfu@mail.ru
ISSN	2308–4758

СОДЕРЖАНИЕ

«НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ», № 3, 2021

25.00.15	ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ СКВАЖИН (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)	
	Верисокин А.Е., Шлеин Г.А. Разработка рекомендаций по освое- нию и исследованию скважин струйными аппарата- ми после проведения гидроразрыва пласта	7
	Verisokin A.E., Shlein G.A. Elaboration of Recommendations for Development and Survey of Wells with the Aid of Jet Devices After Hydraulic Fracturing	8
25.00.24	ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ	
	Герасименко Т.И., Искалиев Д.Ж. Процессы трансформации астио- нимов на географической карте Казахстана (конец XIX – начало XXI века)	23
	Gerasimenko T.I., Iskaliyev D. Zh. Transformation processes of the asty- onyms on the geographical map of Kazakhstan (late XIX – early XXI centuries)	24
	Зольникова Ю.Ф. Историко-географические аспекты исследования гидроминеральных ресурсов Север- ного Кавказа в первой половине XIX века	43
	Zolnikova Yu.F. Historical and Geographical Aspects of the Study of Hydromineral Resources of the North Caucasus in the First Half of the XIX Century	44

25.00.30	МЕТЕОРОЛОГИЯ, КЛИМАТОЛОГИЯ, АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ	
	Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Кешева Л.А., Теунова Н.В.	
	Изменения температурного режима и режима осадков теплого и холодного периодов в различных климатических зонах Северо-Кавказско- го региона	55
	Ashabokov B.A., Fedchenko L.M., Kesheva L.A., Teunova N.V.	
	Changes in Temperature Regime and Precipitation Regime of Warm and Cold Periods in Var- ious Climatic Zones of the North Caucasus Region	56
	Ташилова А.А.	
	Изменения в распределении регио- нальных осадков в ответ на глобальное потепле- ние	73
	Tashilova A.A.	
	Changes in Regional Precipitation Dis- tribution in Response to Global Warming	74
	Аджиева А.А., Черкесов А.А.	
	Космическая погода и климатиче- ские явления в атмосфере	91
	Adzhieva A.A., Cherkesov A.A.	
	Space Weather and Climate Pheno- mena in the Atmosphere.	92
	Хучунаев Б.М., Геккиева С.О., Будаев А.Х.	
	Методы определения льдообразую- щей эффективности противогорадовых изделий на лабораторных установках.	105
	Khuchunaev B., Budaev A., Gekkieva S.	
	Methods for Determining the Ice-form- ing efficiency of anti-hail products on laboratory installa- tions	106

25.00.36 ГЕОЭКОЛОГИЯ

**Атабиева Ф.А., Чередник Е.А.,
Отарова А.С.**

Пространственно-временная измен-
чивость уровня содержания соединений тяжелых
металлов в воде рек Малка и Баксан 119

Atabieva F.A., Cherednik E.A., Otarova A.S.

Spatial-time variability of the level of
heavy metal compounds in the water of the Malka and
Baksan rivers 120

Казмирук В.Д.

Барьерная роль макрофитов при за-
грязнении водных объектов микро-
пластиком 133

Kazmiruk V.D.

The Barrier Role of Macrophytes in Po-
llution of Water Bodies with Micriplastics. 134

25.00.15
УДК 622.276

ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ СКВАЖИН
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Верисокин А.Е.,
Шлеин Г.А.

Северо-Кавказский федеральный университет;
Тюменский индустриальный университет

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОСВОЕНИЮ И ИССЛЕДОВАНИЮ СКВАЖИН СТРУЙНЫМИ АППАРАТАМИ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА

DOI: 10.37493/2308-4758.2021.3.1

Введение.

В статье приведены рекомендации для освоения и исследования скважин струйными аппаратами в зависимости от характера притока после проведения гидроразрыва пласта. Существующие решения для освоения и исследования скважин не позволяют избавиться от осложнений после проведения гидроразрыва пласта, таких как активный вынос проппанта из призабойной зоны с пересыпанием забоев и снижением дебитов скважин. Применение струйных насосов предложенной в работе конструкции позволяет эффективно освоить скважины, сократить сроки ввода их в эксплуатацию, провести качественные гидродинамические исследования и получить фильтрационные параметры пласта.

Материалы и методы исследований.

Для разработки рекомендаций по освоению и исследованию скважин в зависимости от характера притока после проведения гидравлического разрыва пласта исследованы отчеты о выполнении работ на скважинах Русской площади, Восточно-Мессояхского месторождения, Ямбургской площади. На каждой исследуемой скважине выполнена обработка кривой восстановления давления. Полученные данные обработаны по методу Д. Хорнера.

Результаты исследований и их обсуждение.

Предложена инструкция по эксплуатации струйного насоса. Приведена конструкция разработанного проходного струйного аппарата. Описаны работы, которые оформляются актом при испытании скважин с применением струйного насоса. Представлен опыт технологии освоения и исследования скважин в зависимости от характера притока. Рассмотрены три основных режима работы пласта, при которых чаще всего производят отбор глубинных проб нефти из скважин.

Выводы.

Освоение скважин струйными аппаратами после проведения гидравлического разрыва пласта показало отсутствие выноса проппанта, отмечена стабильная работа скважин. Определены перспективные направления использования струйных аппаратов в зависимости от характера притока. Данные интерпретации гидродинамических исследований скважин позволяют сделать вывод о наличии в рассматриваемых интервалах коллекторов флюидов. Рассмотрены условия отбора глубинных проб углеводородов.

Ключевые слова:

гидроразрыв пласта; скважина; освоение скважины; исследование скважины; прискважинная зона; струйный насос, приток.

A. E. Verisokin,
G. A. Shlein

North Caucasus Federal University;
Tyumen Industrial University

Elaboration of Recommendations for Development and Survey of Wells with the Aid of Jet Devices After Hydraulic Fracturing

Introduction. The paper provides recommendations for the development and survey of wells with the aid of jet devices, depending on the nature of the inflow after hydraulic fracturing. Existing solutions to develop and survey wells do not prevent complications after hydraulic fracturing, such as the active removal of proppant from the bottom-hole zone with the backfill of well bottom-hole and a decrease in well flow rates. The use of jet pumps of the design proposed in the work makes it possible to effectively develop wells, reduce the time of their commissioning, conduct high-quality hydrodynamic surveys and obtain reservoir filtration parameters.

**Materials and methods
of research.** To elaborate recommendations for the development and survey of wells, depending on the nature of the inflow after hydraulic fracturing, reports on operations at the wells of the Russian area, the Vostochno-Messoyakhskeye field, and the Yamburgskaya area were studied. The pressure build-up curve was processed at each well under study. The obtained data were processed by D. Horner's method.

**Research results and
their discussion.** The instruction for the operation of the jet pump is offered. The design of the developed flow-through jet device is given. The operations that are documented with certificates when testing wells using a jet pump are described. The experience of development and survey of wells, depending on the nature of the inflow, is presented. Three main reservoir drives in which deep oil samples are most often taken from wells were considered.

Conclusions. The development of wells by jet devices after hydraulic fracturing showed the absence of proppant removal, stable operation of wells was pointed out. The promising directions of using jet devices are determined, depending on the nature of the inflow. These interpretations of hydrodynamic surveys of wells allow us to conclude that there are fluid reservoirs in the considered intervals. The conditions for the selection of deep samples of hydrocarbons are considered.

Key words: hydraulic fracturing; well; well development; well survey; near-wellbore zone; jet pump, inflow.

Введение

В России гидроразрывы пластов (ГРП) в скважинах на постоянной основе выполняются с 1992 г. В последнее десятилетие с целью увеличения полудлины трещины ГРП и вовлечения в разработку ранее не дренируемых запасов проводятся мероприятия, направленные на увеличение загрузки проппанта на 1 м эффективной толщины пласта. С увеличением массы закачиваемого проппанта в скважинах возникли проблемы активного выноса проппанта из призабойной зоны скважин с пересыпанием забоев и снижением дебитов скважин [1]. В качестве действенного метода предотвращения выноса проппанта предлагается освоение скважин струйными аппаратами. Принцип освоения скважин струйными аппаратами основан на создании управляемых циклических депрессий на пласт, что позволяет производить полную очистку прискважинной зоны пласта от фильтрата и частиц бурового раствора в короткие сроки, а также отработанных химреагентов и продуктов реакций после проведения гидравлического разрыва пласта. Применение струйных насосов позволяет эффективно освоить скважину, сократить сроки ввода ее в эксплуатацию и провести качественные гидродинамические исследования методами установившихся отборов и неустановившейся фильтрации (восстановление давления с закрытием скважины на забое) и получить фильтрационные параметры пласта.

Материалы и методы исследований

При выполнении работы использовались методы математической статистики, проведены вычислительные эксперименты. Проанализированы и обобщены промысловые и теоретические данные по рассматриваемой проблеме. Для разработки рекомендаций по освоению и исследованию скважин в зависимости от характера притока после проведения гидравлического разрыва пласта исследованы отчеты о выполнении работ на скважинах Русской площади, Восточно-Мессояхского месторождения, Ямбургской площади. На каждой исследуемой скважине выполнена обработка кривой восстановления давления (КВД). Полученные данные обработаны по методу Д. Хорнера.

Для расчета гидродинамических параметров исследуемых пластов использовались данные по дебиту скважины, эффективной

толщине пласта, объемному коэффициенту, плотности нефти, вязкости нефти. Рассчитаны параметры пластов: тангенс угла наклона касательной; пластовое давление, определенное по КВД; коэффициент гидропроводности; коэффициент проницаемости.

Построены индикаторные диаграммы скважин, на основании которых даны рекомендации по освоению и исследованию скважин в зависимости от интенсивности притока после проведения гидравлического разрыва пласта.

Результаты исследований и их обсуждение

Подготовительные работы

Предварительная подготовка струйного аппарата к работе производится в строгом соответствии с инструкцией по эксплуатации насоса. Подготовка заключается в полной разборке насоса и включает:

- очистку всех узлов от грязи и посторонних предметов;
- проверку всех узлов на отсутствие механических повреждений и соответствие их геометрических параметров, указанным в конструкторской документации;
- проверку состояния уплотняющих элементов;
- обнаруженные неисправности устраняются;
- после сборки струйный насос в собранном виде опрессовывается водой на давление 30,0 МПа и выдерживается под указанным давлением в течение 30 минут. При снижении испытательного давления за указанное время менее чем на 5%, насос признается герметичным.

Перед спуском струйного аппарата с пакером, эксплуатационную колонну шаблонируют с помощью шаблона соответствующего размера.

Работы по освоению и исследованию скважины при помощи струйного насоса производятся по специальному плану, утверждённому главным геологом и инженером предприятия [2]. Производится расстановка и обвязка оборудования по специально разработанной для этой операции схеме (рис. 1).

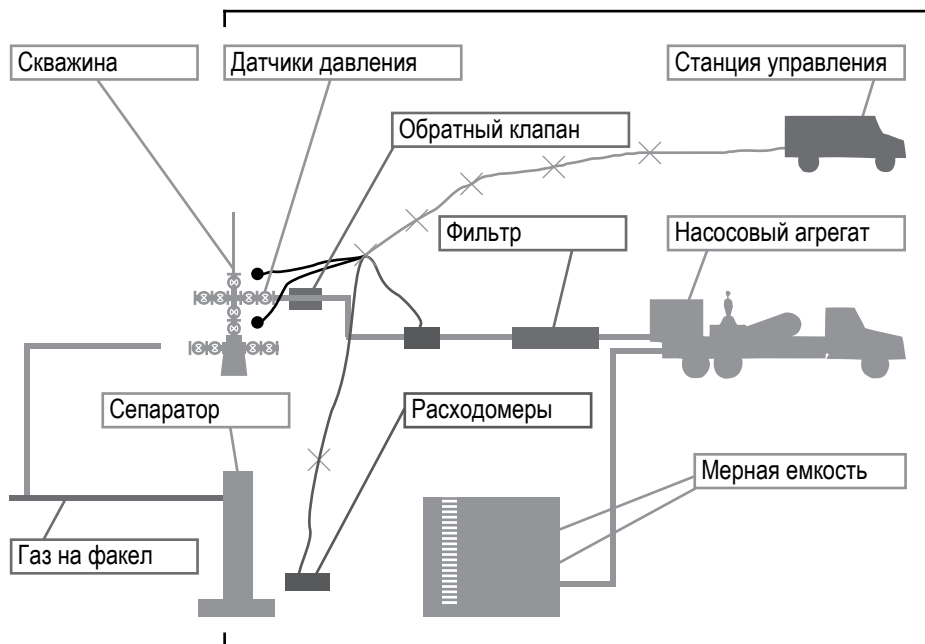


Рис. 1.

Схема обвязки устьевого оборудования при освоении и исследовании скважины с помощью струйного насоса.

Fig. 1. The scheme of strapping of wellhead equipment during the development and survey of a well using a jet pump.

В зависимости от целей работ, типа струйного насоса и других факторов, компоновка подземного оборудования может варьироваться [3]. Наиболее часто применяется компоновка, включающая следующие элементы (рис. 2):

- фильтр с установленным в нём глубинным манометром;
- пакер;
- обратный клапан, позволяющий вести запись кривой восстановления давления (КВД);
- струйный насос;
- спускаемые насосно-компрессорные трубы (НКТ) до устья осваиваемой скважины.

Компоновку спускают к интервалу перфорации с тщательным замером длины труб и спускаемого в скважину оборудования [4]. Резьбовые соединения герметизируются лентой ФУМ.

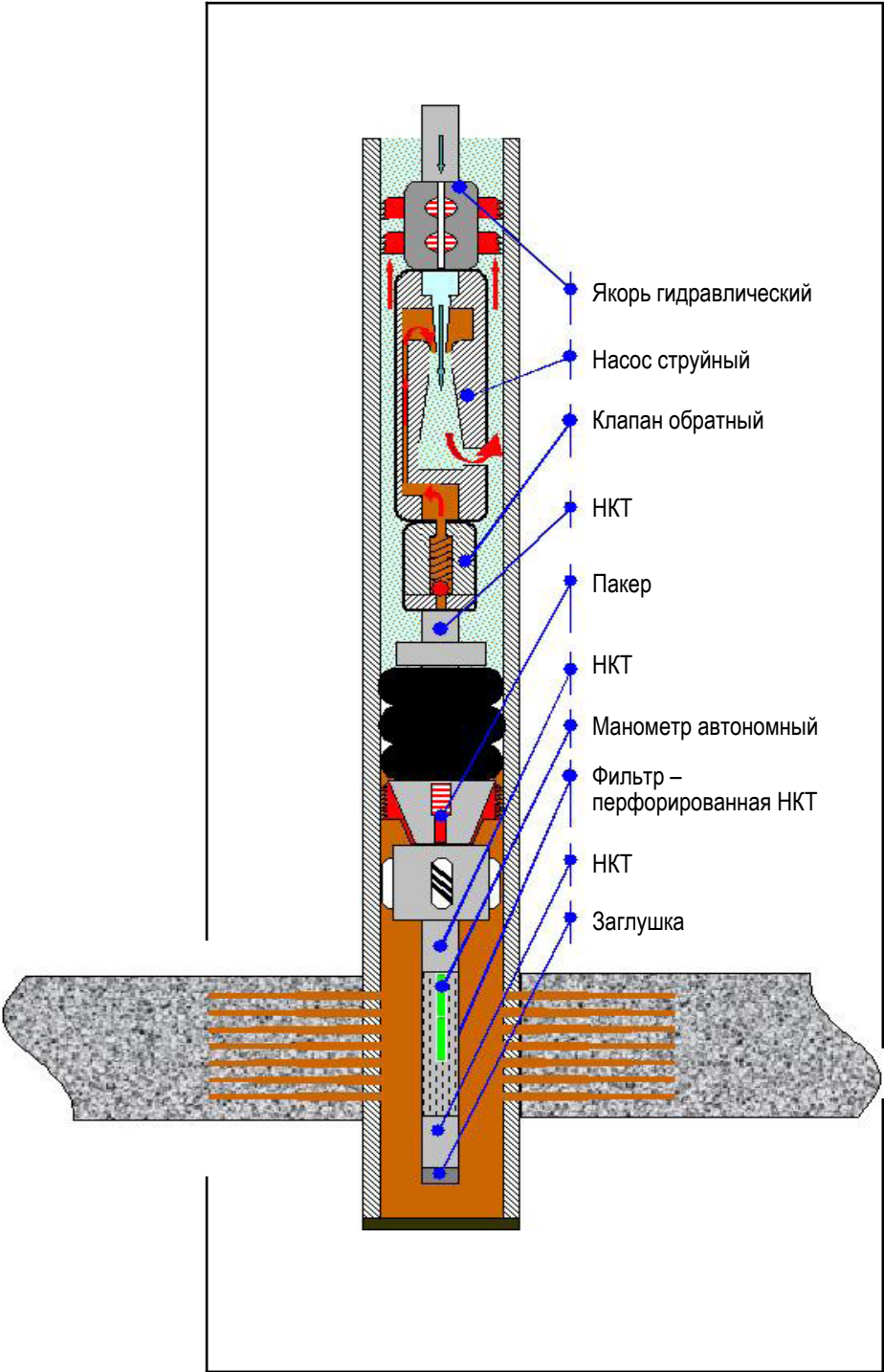


Рис 2. **Схема компоновки струйного насоса в скважине.**
Fig. 2. Layout diagram of the jet pump in the well.

Место установки пакера должно находиться на расстоянии не менее 2 метров от ближайшего муфтового соединения труб эксплуатационной колонны [5].

Спуск инструмента производят плавно, на пониженной скорости (в соответствии с требованиями инструкции по эксплуатации применяемого пакера) [6]. Место установки пакера проверяется по локатору муфт. Устанавливается пакер. Нагнетательные линии и фонтанная арматура опрессовываются на полуторократное ожидаемое давление. Опрессовывается пакер на давление равное давлению опрессовки эксплуатационной колонны.

Производится смена глинистого раствора на рабочую жидкость. В качестве рабочей жидкости, как правило, используется техническая вода. Применение в качестве рабочей жидкости нефти может привести к возникновению на некоторых режимах нагнетания кавитационных явлений в рабочих механизмах струйного насоса и, как следствие – повышенному износу струйного насоса

Освоение и исследование скважин

Перед началом освоения необходимо замерить начальный уровень рабочей жидкости в мерной ёмкости [7].

Создание депрессии на пласт осуществляется нагнетанием жидкости в колонну НКТ или затрубное пространство, в зависимости от типа применяемого струйного насоса. Для пропуска геофизической аппаратуры через струйный насос с целью получения более информативных данных в процессе освоения и исследования скважин разработан проходной струйный аппарат (рис. 3). Конструктивной особенностью насоса является наличие вставки с геофизическим прибором. В нижней части компоновки предусмотрен контейнер-воронка с автономным манометром [8].

Для очистки прискважинной зоны пласта и вызова притока, на пласт воздействуют методом переменных давлений. Для этого в течение 5–10 минут создаётся депрессия, затем закрыв затрубную задвижку фонтанной арматуры – при работе через трубное пространство, или трубную задвижку – при работе через затрубное пространство, поднимают давление на устье скважины до значения, не превышающего давления опрессовки эксплуатационной колонны. Затем задвижка открывается для снятия давления в скважине. Далее вновь

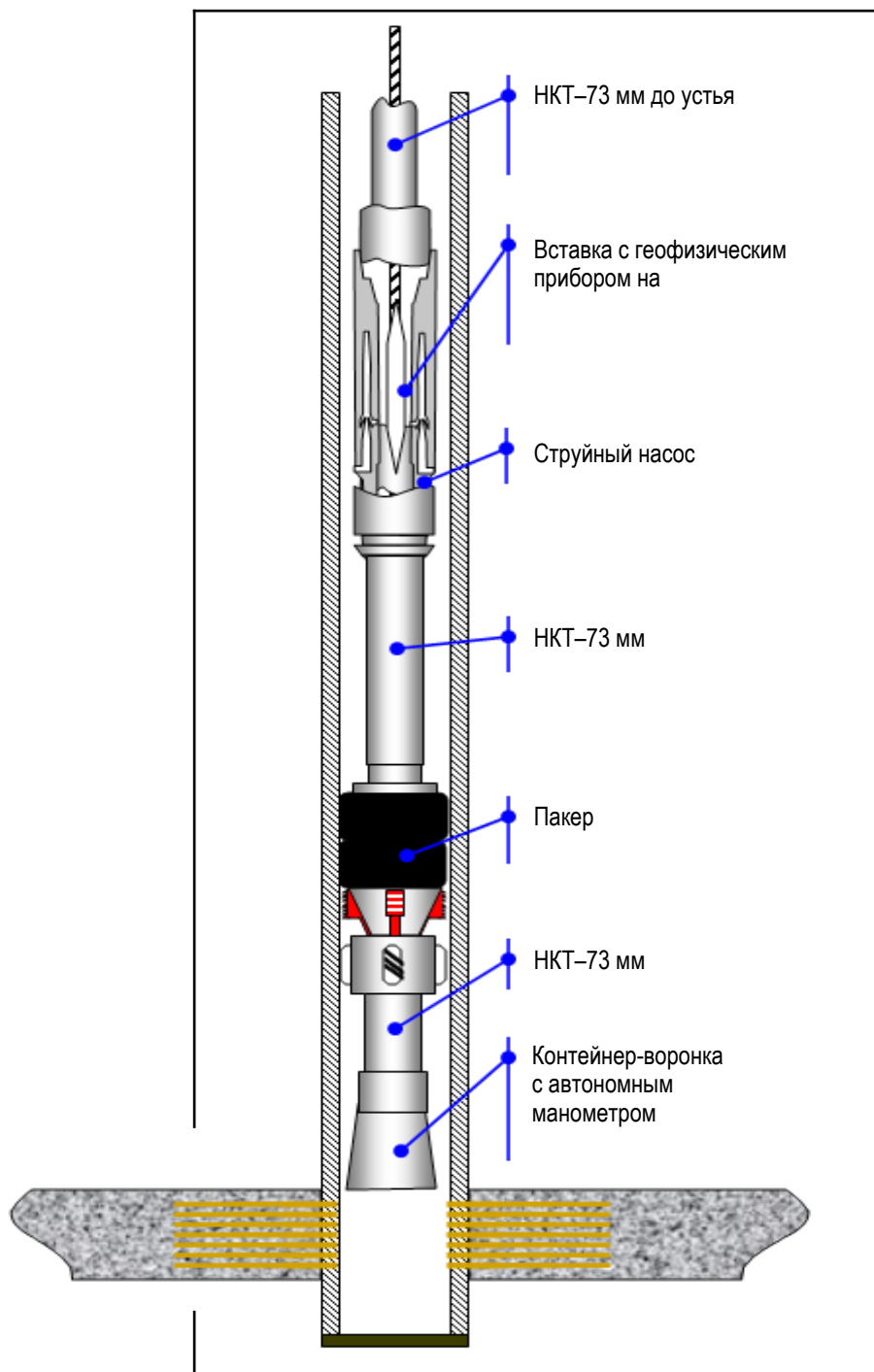


Рис 3.

Схема компоновки проходного струйного насоса в скважине.

Fig. 3. Layout diagram of a flow-through jet pump in a well.

создается депрессия. Воздействие по методу депрессия-репрессия повторяется 20–30 раз. Для выполнения этой операции в компоновке подземного оборудования обратный клапан не устанавливается.

При записи КВД с закрытием на забое, вызов притока осуществляется периодическими остановкой и пуском насосных агрегатов. При этом в подпакерной зоне будет создаваться депрессия – при работе агрегатов и восстанавливаться до пластового – при прекращении циркуляции.

Гидродинамические исследования проводятся методами установившихся отборов и на неустановившейся фильтрации [9]. Наиболее информативные исследования получают при использовании в компоновке инструмента обратного клапана.

Исследования производятся на 3–4 режимах работы прямым и 3–4 режимах работы обратным ходами. Путём подбора скорости на коробке передач насосного агрегата и числа оборотов коленчатого вала двигателя устанавливается стационарный режим отбора.

При наличии в компоновке клапана, после каждого режима производится запись КВД. При остановке циркуляции клапан закрывается под весом столба жидкости. Если пластовое давление выше гидростатического, закрытие клапана можно добиться созданием избыточного давления на устье скважины [10].

Дебит скважины определяется путём замера прироста уровня жидкости в мерной емкости за определенный промежуток времени, либо с применением специальных расходомеров. Результаты исследований методом установившихся отборов сводятся в таблицу.

Работы по испытанию скважины с применением струйного насоса оформляются актом, в котором обязательно указывается [11]:

- глубина залегания продуктивного пласта;
- глубина установки струйного насоса;
- глубина установки пакера;
- глубина установки глубинного манометра;
- длина хвостовика;
- тип и количество насосных агрегатов;
- диаметр втулок рабочего насоса;
- рабочие скорости агрегата при нагнетании жидкости;
- давление на насосном агрегате при переводе скважины с глинистого раствора на воду;

- рабочие давления на устье при работе на установившихся режимах отбора;
- расшифровка времени освоения и исследования (установившиеся режимы, КВД и т.п.);
- начальный объём жидкости в мерной ёмкости и прирост объёма в результате отбора.

Варианты технологии освоения и исследования скважины в зависимости от характера притока:

- *Малодобитные непереливающие притоки с газовым фактором в продукции менее $100 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Работы можно проводить без установки в схему обвязки устьевого оборудования сепаратора и мерной емкости. Исследования проводятся на 3–4 режимах работы прямым и 3–4 режимах работы обратным ходами и записью КВД. В этом случае дебит притока измеряется по изменению уровня в мерниках насосного агрегата.*
- *Фонтанирующие притоки и притоки с газовым фактором выше $100 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Требуется обязательная установка газосепаратора и мерной емкости. Необходимо также предусмотреть систему утилизации нефти и попутного газа. При получении после работ по освоению скважины струйным насосом фонтана, исследования проводить по стандартной схеме – отработкой скважины на 3–4 штуцерах и записью КВД, с замером дебита нефти через мерную емкость и дебита газа через ДИКТ. Для предотвращения создания условий кавитационного разрушения рабочих органов струйного насоса – не допускать попадания в рабочую жидкость добытой из скважины нефти.*
- *Притоки высоковязких нефтей из слабосцементированного коллектора. Работы проводятся по аналогии для малодобитных непереливающихся притоков с газовым фактором в продукции менее $100 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Требуется предусмотреть систему гравитационной сепарации твердой фазы из рабочей жидкости в мер-*

ной емкости для предотвращения попадания песка на прием насоса наземного агрегата, т.к. в этом случае будет происходить повышенный абразивный износ рабочих органов струйного насоса и, при остановке нагнетания, возможно образование в скважине песчаной пробки с последующей потерей циркуляции. Освоение следует начинать с малых депрессий, при давлении нагнетания рабочей жидкости от 10 кгс/см². Вести непрерывный контроль содержания в рабочей жидкости твердой фазы. При появлении в рабочей жидкости песка, немедленно перейти на более низкую депрессию, при которой выноса песка не наблюдалось, и отрабатывать скважину до полного прекращения выноса песка.

— *Освоение и исследование скважин с аномально высоким пластовым давлением (АВПД).* Первичное вскрытие пласта производится буровым раствором высокой плотности, утяжеленным, как правило, баритом. В связи с этим в компоновку подземного оборудования, выше струйного насоса, устанавливается промывочный узел, позволяющий проводить промежуточные промывки при спуске компоновки в скважину для дегазации и выравнивания параметров бурового раствора, а также перевод скважины с раствора глушения на тех. воду. При закрытии скважины на КВД для предотвращения преждевременного открытия забойного обратного клапана на устье создается избыточное давление.

Условия отбора глубинных проб флюидов

Отбор глубинных проб нефти при одновременной регистрации данных по пластовой температуре и давлению в точке отбора пробы возможен из скважин различного профиля. Эти данные определяются глубинными термометрами и манометрами. Знание пластового давления и температуры необходимо для того, чтобы при лабораторных исследованиях глубинных проб нефти поддерживать в аппаратуре термобарические условия залегания нефтяного пласта.

Выбор методики отбора глубинных проб нефти в значительной степени зависит от режима работы скважины в данный период ее эксплуатации.

Различают три основных режима работы пласта, при которых чаще всего производят отбор глубинных проб нефти из скважин:

- Упруго-водонапорный режим, когда пластовое и забойное давления выше давления насыщения ($P_{пл} > P_{нас} < P_{заб}$). В этом случае на забой скважины поступает и на определенную высоту поднимается пластовая нефть в однофазном состоянии.
- Упруго-водонапорный режим, когда забойное давление ниже давления насыщения, а давление насыщения ниже пластового давления ($P_{пл} > P_{нас} > P_{заб}$). На забой поступает нефть в двухфазном состоянии, но выделение свободного газа происходит только в призабойной зоне пласта.
- режим растворенного газа, когда забойное и текущее пластовое давление ниже давления насыщения независимо от того, в какой степени проявляются упруго-водонапорные силы ($P_{пл} < P_{нас} > P_{заб}$). При этом режиме на забой скважины поступает нефть в двухфазном состоянии, но свободный газ выделяется не только в призабойной зоне, но и в более удаленных от скважины зонах пласта, а от величины снижения давления ниже давления насыщения зависит состав газа газонефтяной смеси в призабойной зоне и скважине.

Конструктивной особенностью компоновки струйных насосов является размещение пробоотборников, которые устанавливаются в затрубном пространстве подпакерной зоны компоновки на расстоянии около 20 м ниже пакера и около 5 м выше верхних отверстий забойного фильтра. При этом забойный фильтр должен находиться напротив интервала перфорации. Для обеспечения необходимого объема отобранной пробы необходимо устанавливать не менее трех пробоотборников. Исходя из этих условий рассчитывается длина надфильтровой части хвостовика компоновки.

Отбор проб проводится в остановленной скважине всасывающим пробоотборником в конце периода записи КВД, но не ранее чем через 24 часа от начала остановки.

Все работы с пробоотборниками должны соответствовать требованиям инструкций по эксплуатации соответствующих приборов и рекомендациям по отбору проб.

Выводы

1. Разработана инструкция по подготовке струйного аппарата к эксплуатации. Работы по освоению и исследованию скважины при помощи струйного насоса производятся с учетом конкретных горно-геологических условий по специальному плану, утверждённому главным геологом и инженером предприятия.
2. Приведена конструкция разработанного проходного струйного аппарата. Конструктивной особенностью насоса является наличие вставки с геофизическим прибором. В нижней части компоновки предусмотрен контейнер-воронка с автономным манометром. Наиболее часто применяется компоновка, включающая фильтр с установленным в нём глубинным манометром; пакер; обратный клапан, позволяющий вести запись КВД; струйный насос; спускаемые НКТ до устья осваиваемой скважины.
3. Представлены варианты технологии освоения и исследования скважины с помощью разработанного струйного аппарата в зависимости от характера притока:
 - малodeбитные непереливающие притоки с газовым фактором в продукции менее $100 \text{ м}^3/\text{м}^3$;
 - фонтанирующие притоки и притоки с газовым фактором выше $100 \text{ м}^3/\text{м}^3$;
 - притоки высоковязких нефтей из слабосцементированного коллектора;
 - освоение и исследование скважин с АВПД.
4. Рассмотрены условия отбора глубинных проб флюидов с помощью разработанного струйного аппарата.

та. Различают три основных режима работы пласта, при которых чаще всего производят отбор глубинных проб нефти из скважин:

- упруго-водонапорный режим, когда пластовое и забойное давления выше давления насыщения;
- упруго-водонапорный режим, когда забойное давление ниже давления насыщения;
- режим растворенного газа.

Библиографический список

1. Верисокин А.Е. Технология проведения гидравлического разрыва пласта с использованием никелида титана / А.Е.Верисокин, Д.Ю. Сериков // Территория нефтегаз. 2019. №9. С. 20–24.
2. Стандарт организации. Нефть. Отбор пластовых флюидов. СТО РМНТК 153–39.2–002–2003. ОАО «ВНИИнефть», НЦ «Флюид». Утвержден и введен в действие приказом РМНТК «Нефтеотдача» 02.12.2003 г.
3. Федорцов В.К. Временные технические условия на освоение скважин струйными аппаратами / Федорцов В.К., Ягафаров А.К., Горностаев С.Г., Шлеин Г.А., согласованные с Управлением Тюменского округа Госгортехнадзора СССР 25.06.86.
4. Булатов А.И., Качмар Ю.Д., Макаренко П.П., Яремийчук Р.С. Освоение скважин. М.: Недра-Бизнесцентр, 1999.
5. Соколов Е.А., Зингер Н.Н. Струйные аппараты. М.: Энергия, 1974.
6. Яремийчук Р.С., Качмар Ю.Д. Вскрытие и освоение продуктивных горизонтов. Высшая школа. Львов, 1982.
7. Федорцов В.К. Практические указания испытания поисковых и разведочных скважин на нефть и газ / Федорцов В.К., Ягафаров А.К., Клевцур А.П. и др. Ч. II. Освоение скважин, интенсификация притоков из поровых коллекторов. Тюмень, 1988.
8. Патент 2345214 РФ E21B 43/25, E21B 49/00 (2006.01). Способ освоения, интенсификации нефтегазовых притоков, проведения водоизоляционных работ и устройство для его осуществления: № 2006146718/03, заявл. 26.12.2006 : опубл. 10.07.2008 / Шлеин Г.А., Кузнецов Ю.А., Горностаев С.Г., Котов Т.А.; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «СибГеоПроект».

9. Ягафаров А.К., Федорцов В.К., Телков А.П., Шлеин Г.А., Горностаев С.Г. Гидродинамические исследования малодебитных нефтяных скважин. «Вектор Бук», Тюмень, 2006.
10. Верисокин А.Е. Особенности технологии промывки и освоения горизонтальных скважин после селективного гидроразрыва пласта на месторождениях Западной Сибири / Верисокин А.Е., Зиновьева Л.М.// Наука. Инновации. Технологии–2015 г. Выпуск № 3. С. 79 – 91.
11. Патент 2 643 882 РФ МПК F04F 5/42 (2006.01), F04F 5/48 (2006.01). Струйный насос: № 2017114222: заявл. 24.04.2017 : опубл. 06.02.2018 / Агасарян А. А., Белкин И.В., Верисокин А.Е., Шейко И.В., Машков В. А., Паросоченко С.А.; патентообладатель Паросоченко Сергей Анатольевич. Бюл. № 4.

References

1. Verisokin, A. E Technology of hydraulic fracturing using titanium nickelide / Verisokin A. E, Serikov D. Yu. // Territory of oil and gas. 2019. № 9. P. 20–24.
2. Organization standard. Oil. Selection of formation fluids. STO RMNTK 153–39.2–002–2003. JSC "VNIIneft", Research Center "Fluid". Approved and put into effect by the order of the RMNTK "Nefteotdacha" 02.12.2003.
3. "Temporary technical conditions for the development of wells with jet devices", authors: Fedortsov V.K., Yagafarov A.K., Gornostaev S.G., Shlein G.A., agreed with the Administration of the Tyumen District of the USSR Gosgortekhnadzor on 06/25/86.
4. Bulatov A.I., Kachmar Y.D., Makarenko P.P., Yaremiichuk R.S. Well development. M., Nedra-Business Center, 1999.
5. Sokolov E.A., Zinger N.N. Jet apparatuses. M., Energy, 1974.
6. Yaremiichuk R.S., Kachmar Yu.D. Opening and development of productive horizons. Graduate School. Lviv, 1982.
7. Fedortsov VK, Yagafarov AK, Klevtsur AP and others. Practical guidelines for testing prospecting and exploration wells for oil and gas. Part II. Well development, stimulation of inflows from porous reservoirs. Tyumen, 1988.
8. Patent 2345214 RF Int. C1 E21B 43/25, E21B 49/00 (2006.01). Method of well development, stimulation of oil and gas inflows, water shutoff treatment and device for its implementation: №2006146718/03, Appl. 26/12/2006: Publ. 10/07/2008/

- Shlein G.A., Kuznetsov Yu.A., Gornostaev S.G., Kotov T.A.;
Proprietor: Limited Liability Company " SibGeoProekt
9. Yagafarov A.K., Fedortsov V.K., Telkov A.P., Shlein G.A., Gornostaev S.G. Hydrodynamic surveys of marginal oil wells. "Vector Buk", Tyumen, 2006.
 10. Verisokin A.E. Features of the technology of flushing and development of horizontal wells after selective hydraulic fracturing in the fields of Western Siberia. / Verisokin A.E., Zinovieva L.M. // Science. Innovation. Technologies –2015 Issue №3. P. 79–91.
 11. Patent 2,643,882 RF IPC F04F 5/42 (2006.01), F04F 5/48 (2006.01). Jet pump: No. 2017114222: Application 24.04.2017: publ. 06.02.2018 / Agasaryan A. A., Belkin I. V., Verisokin A.E., Sheiko I. V., Mashkov V. A., Parosochenko S. A.; patent holder Parosochenko Sergey Anatolyevich. Bull. No. 4.

Поступило в редакцию 18.08.2021,
принята к публикации 30.08.2021.

Сведения об авторах

Верисокин Александр Евгеньевич, старший преподаватель, ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»
355017, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1
e-mail: averisokin@ncfu.ru

Шлеин Геннадий Андреевич, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38
e-mail: shlein.g@yandex.ru

About the authors

Verisokin Alexander Evgenievich, Senior lecturer, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "North-Caucasus Federal University, 1, Pushkin Street, Stavropol, Russia, 355017; e-mail: averisokin@ncfu.ru

Shlein Gennady Andreevich, Cand. Tech. Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tyumen Industrial University", 38, Volodarsky Street, Tyumen, Russia, 625000
e-mail: shlein.g@yandex.ru

25.00.24
УДК 914/919

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ
И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

Герасименко Т.И., Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия;
tanyag26@yandex.ru;
Искалиев Д.Ж. Западно-Казахстанский университет им. М. Утемисова, г. Уральск,
Казахстан; iskaliyev84@mail.ru

ПРОЦЕССЫ ТРАНСФОРМАЦИИ АСТИОНИМОВ НА ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ КАЗАХСТАНА (КОНЕЦ XIX – НАЧАЛО XXI ВЕКА)

DOI: 10.37493/2308-4758.2021.3.2

Введение.

Цель исследования – выявить факторы, мотивы и особенности трансформации топонимии Казахстана как важного маркера культурных ландшафтов, обусловленных историко-географическими изменениями на территории республики. В статье анализируются процессы изменения географических названий на примере астионимов (названий городов) за период с конца XIX до настоящего времени. Подчеркивается актуальность данного вопроса с точки зрения исследования топонимии как части геокультурного пространства. Ономастическая практика в постсоветском Казахстане не отличается от таковой в других бывших союзных республиках. Новая волна трансформации – это одно из последствий делимитации. Мониторинг этого процесса необходим для выработки оптимальных направлений региональной и межгосударственной политики.

Материалы и методы исследования.

Использована система географических и междисциплинарных подходов и методов, включая историко-географический, хронологический, картографический, статистический, контент-анализ. Информационной базой стали материалы официальных сайтов Республики Казахстан и Российской Федерации, отражающие законодательную и фактологическую базу, материалы переписей населения, научные и другие публикации, карты разных лет издания.

Результаты исследования и их обсуждение.

На основе анализа большого числа данных проведена семантическая классификация названий городов и её изменение за исследуемый период; проанализированы две важнейшие волны трансформации за исследуемый период, исследована структура видов переименований астионимов в постсоветское время. Определены наиболее устойчивые астионимы Казахстана. Выявлено, что переименования затронули значительную часть топонимов. По этому показателю республику следует считать территорией с изменённым культурным пространством.

Выводы.

Трансформация астионимов Казахстана обусловлена, прежде всего, геополитическими и социально-экономическими изменениями на территории республики. Особенно серьёзная трансформация произошла в постсоветский период. Большая часть переименований связана с десоветизацией. Для элементов предыдущих топонимических и культурных пластов характерно сжатие. Существующая тенденция свидетельствует о возможности тотальной и необратимой трансформации астионимов. Наиболее подверженными трансформации оказались названия «антропотопонимы», а наиболее устойчивыми – «гидронимы» и «оронимы». Ключевые слова: трансформация топонимии, астионимы, классификация топонимов, города Казахстана.

Ключевые слова:

Gerasimenko T.I., Orenburg State University, Orenburg;
tanyag26@yandex.ru;

Iskaliyev D. Zh. Makhambet Utemisov West Kazakhstan University, Uralsk, Kazakhstan;
iskaliyev84@mail.ru

Transformation processes of the astynonyms on the geographical map of Kazakhstan (late XIX – early XXI centuries)

Introduction. The purpose of the study is to identify the factors, motives and features of the transformation of the toponymy of Kazakhstan as an important marker of cultural landscapes caused by historical and geographical changes in the territory of the republic. The paper have been analyzed the processes of changing geographical names on the example of ethnonyms (names of cities) for the period from the end of the XIX century to the present. The relevance of this issue from the point of view of the study of toponymy as part of the geo-cultural space have been emphasized. Onomastic practice in post-Soviet Kazakhstan does not differ from that in other former Soviet republics. A new wave of transformation is one of the consequences of delimitation. Monitoring of this process is necessary for the development of optimal directions of regional and interstate policy.

Materials and methods of research. Materials and methods of research. A system of geographical and interdisciplinary approaches and methods, including historical-geographical, chorological, cartographic, statistical, and content analysis, have been used. The information base have been the materials of the official web-sites of the Republic of Kazakhstan and the Russian Federation, reflecting the legislative and factual base, materials of population censuses, scientific and other publications, maps of different years of publication.

The results of the study and their discussion. The semantic classification of city names and its changes over the period under study were carried out. It have been ased on the analysis of a large number of data. Two most important waves of transformation over the period under study have been analyzed. The structure of the types of renaming of astynonyms in the post-Soviet period have been studied. The most stable astynonyms of Kazakhstan are determined. It have been revealed that the renaming affected a significant part of the toponyms. According to this indicator, the republic should be considered a territory with a modified cultural space.

Conclusions. The transformations of the astynonyms of Kazakhstan are primarily due to geopolitical and socio-economic changes in the territory of the republic. A particularly serious transformation took place in the post-Soviet period. Most of the renaming have been associated with desovietization. The elements of the previous toponymic and cultural layers have been characterized by compression. The current trend indicates the possibility of a total and irreversible transformation of astynonyms. The most susceptible to transformation were «anthropotonyms», and the most stable were «hydronyms» and «oronyms».

Key words: toponymy transformation, astionyms, classification of toponyms, cities of Kazakhstan.

Введение

Географические названия (топонимы) подвержены трансформации, т.е. изменению в процессе исторического употребления [1]. Это обусловлено, прежде всего, замещением населения в историко-географической ретроспективе.. Трансформация связана с разными причинами: замещением населения, смешением разноразличных топонимов в силу политических, административных и других факторов, с употреблением названий народами, говорящими на разных языках, со смешением близких по звучанию, но разных по значению слов одного и того же языка, с изменением в звуковом и грамматическом строе языка. Существуют и иные причины изменений, в том числе политические и административные (революции, войны, образование новых и разрушение старых государств, совершенствование АД, национализация топонимии). Топонимия имеет и идеологическую подоплеку, что особенно характерно для рассматриваемого периода.

Процесс коренной трансформации культурно-географического пространства и территориальной структуры общества постсоветских стран начался почти 30 лет назад. Одной из главных перемен стал неуклонный и быстрый рост регионального самосознания, национальной и местной идентичности, на что обратил внимание ещё Л.В. Смирнягин [17]. Трансформация топонимического ландшафта – один из результатов и важный маркер этого процесса.

На территории Казахстана долгое время сосуществовали топонимические пласты разных историко-географических периодов развития. Один из авторов (Т.Г.) уже писала об этом [3]. В данной статье будем говорить о двух важнейших волнах трансформации топонимии исследуемого временного отрезка. Обратим внимание на то, что в настоящее время происходит казахизация и сжатие предшествующих топонимических пластов. Особенно это касается «славянского» пласта (представленного преимущественно русскими, украинскими и советскими, но не только ими, топонимами). Русские топонимы появились на карте Казахстана в конце XIX века, большая их часть – в советский период, после образования Казахской ССР. Советизация сопровождалась частичной русификацией и идеологизацией топонимии.

В постсоветское время наблюдается противоположный процесс, характеризующийся десоветизацией и дерусификацией. Темпы подобных изменений высоки почти на всём зарубежном постсоветском пространстве. Да и на территории современной России топонимия меняется.

С обретением независимости в бывших советских республиках топонимия рассматривается как инструмент формирования нового символического пространства и закрепления суверенитета в пределах вновь очерченных границ. В этом ряду ономастическая практика в постсоветском Казахстане не является исключением. Изменения диктуются «сверху», на законодательном уровне. То есть важнейшим фактором изменений является политико-административный. Трансформация топонимического ландшафта происходит почти на всех уровнях, от названия улиц до названия областей и касается большого числа объектов. Только на уровне областных центров переименования затронули 65% городов. Это говорит о трансформировавшемся культурном пространстве.

Исследователи, занимающиеся изучением проблем взаимодействия и языковых контактов в топонимии, выделяют разные формы переименований. Например, В.А. Жучкевич [4] предложил следующую классификацию трансформации топонимов: сокращение; аббревиатура (акроним), агглютинация (склеивание); фонетическая, морфологическая трансформация; переосмысление; перевод или калька; официальное переименование. Почти все они присутствуют в современной географической картине Казахстана.

Е.М. Поспелов [12] выделяет два непосредственных мотива переименований: стремление ликвидировать существующее название, связанное с именами или понятиями прошлого, которое стало неприемлемым в изменившихся условиях и желание ввести новое название в целях отражения идей, имён и понятий новой власти, строя или государственного образования. Иногда в процесс переименования включают нейтральные названия. Одни из них по ошибке относят к числу неприемлемых, другие становятся фундаментом для внедрения названий с новым идеологическим содержанием.

Материалы и методы исследования

В данной статье анализируется трансформация астионимии Казахстана с 1897 года, то есть с момента первого полного научного географического описания современной его территории (представленного в известной работе В.П. Семёнова-Тян-Шанского) до нашего времени. Название городов в советское и постсоветское время были получены из научных публикаций, справочных материалов, материалов переписей населения и данных официальной статистики. [2; 6–9; 11; 13–16; 19–21 и др.]. Были проанализированы разновременные карты, применялся контент-анализ.

На основе изученных данных были составлены таблицы, диаграммы, графики, картосхемы. Использован сравнительно-географический и историко-географический подходы.

Всё это позволило с очевидностью выделить две волны активной трансформации астионимов в Казахстане за рассматриваемый период: первая волна характеризует переход от дореволюционной к советской топонимии; вторая волна – период постсоветской трансформации топонимов и присвоение первых казахстанских названий. На глубину и направление трансформации топонимов оказывали влияние как господствовавшие в соответствующих периодах значимые социально-экономические и политические процессы и события, так и динамика этнического состава населения.

Из ныне существующих 89-ми населенных пунктов Казахстана, имеющих статус города, в 1897 году существовало 48, из них 29 уже в то время имели статус города. Уральск, Семипалатинск и Верный были областными центрами, остальные 24 (кроме двух «заштатных» городов – Кокпекты и Туркестана) были уездными городами [11; 15; 16]. Из них к настоящему времени статус города смогли сохранить лишь двадцать два населённых пункта. Все три современных города республиканского значения и одиннадцать из четырнадцати областных центров были городами еще в конце XIX века, и только Караганда, Талдыкорган и Актау обрели статус города в XX в.

В настоящее время систему городского расселения Казахстана представляют три города республиканского, 38 городов областного и 48 городов районного значения. К городам республиканского

значения, кроме столицы – г. Нур-Султан, – относятся 2 города-миллионера – бывшая столица г. Алматы и г. Шымкент. Из 38-ми городов областного значения 14 являются областными центрами. Из 48-ми городов районного значения 40 выполняют административную функцию районного центра.

Руководство Казахстана в области ономастики и топонимии опирается на Конституцию и ряд законов (Закон «О языках в РК», Закон «Об административно-территориальном устройстве Республики Казахстан», Закон «О государственной ономастической комиссии», Закон «О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Республики Казахстан по вопросам ономастики», Государственная программа развития и функционирования языков на 2011-2020 гг.) [5, 13].

Законодательные акты, касающиеся непосредственно функционирования языков на территории республики, описывают порядок воспроизведения названий географических объектов, в частности, воспроизведение названий на других языках в соответствии с учётом правил транслитерации. В то же время в Законе «О языках в Республике Казахстан», в ст.19 имеется такая формулировка: «Традиционные, исторически сложившиеся казахские названия административно-территориальных единиц, составных частей населённых пунктов, а также других физико-географических объектов на других языках должны воспроизводиться согласно правилам транслитерации» [5]. В связи с этим утверждены транскрипции следующих областных административно-территориальных единиц:

Ақтау – Актау (далее прежнее название – Шевченко),

Атырау – Атырау (Гурьев),

Ақтөбе – Актобе (Актюбинск),

Жезқазған – Жезказган (Жезказган),

Көкшетау – Кокшетау (Кокчетав),

Қостанай – Костанай (Кустанай),

Қызылорда – Кызылорда (Кызыл-Орда),

Шымкент – Шымкент (Чимкент),

Тараз – Тараз (Жамбыл – Джамбул),

Талдықорған – Талдыкорган (Талды-Курган),

Алматы – Алматы (Алма-Ата),

Астана – Астана (Акмола) [5; 13; 21].

Согласно положению «О Государственной ономастической комиссии», одной из её задач является формирование единого подхода к наименованию и переименованию географических объектов, упорядочения употреблений и учета топонимических названий, восстановления, сохранения исторических названий, как составной части историко-культурного наследия Республики Казахстан. То есть исторический принцип закрепляется как основной в подходе к переименованию географических объектов [15].

В ходе анализа данных нами были использованы и законодательные акты Российской Федерации [6, 7, 14]

Результаты исследования и их обсуждение

С установлением советской власти прошла первая волна трансформации топонимии, которая затронула и астионимию. Основным видом трансформации была полное переименование. До Великой Отечественной войны пять городов (или 17,2%) поменяли название с дореволюционных на нейтральные или более соответствующие идеологии того времени, некоторые города переименовывались дважды: в 1921 г. город Верный переименовали в Алма-Ату; в 1922 г. Перовск – в Ак-Мечеть, а позднее, в 1925 г. в Кызыл-Орду; в 1924 г. Форт-Александровский – в Форт-Урицкий, а в 1939 в Форт-Шевченко; в 1936 г. Аулие-Ата – в Мирзоян, а в 1938 в Джамбул; в 1939 г. Лбищенск переименовали в Чапаев; в 1942 г. Джаркент – в Панфилов. Всего в советское время, до 1946 года, 14 населенных пунктов обрели статус города, из них только четыре были новыми городами, остальные имели дореволюционную историю. К 1946 году в Казахстане было 37 городов (табл. 1) [2; 8; 9].

В послевоенное время переименован только один город – Акмолинск. На волне освоения целинных и залежных земель он получил название Целиноград. В это время появление новых астионимов на карте Казахстана было связано со строительством новых городов или с приданием крупным селам и рабочим поселком статуса города [2; 8; 9]. В конце XX века количество городов на территории Казахстана достигло 88-ми (с учетом закрытых городов) [21].

Таблица 1. СЕМАНТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ НАЗВАНИЙ ГОРОДОВ КАЗАХСТАНА (1897-2020 ГГ.).
Table 1. Semantic classification of the kazakhstan’s astionims (1897–2019)

№	Класс топонимов	1897 г.		1946 г.		1989 г.		2019 г.	
		кол-во городов	%	кол-во городов	%	кол-во городов	%	кол-во городов	%
1.	Гидроним	8	27,6	8	21,6	24	27,3	27	30,7
2.	Ороним	9	31,0	11	29,7	20	22,7	24	26,1
3.	Антропотопоним	7	24,1	11	29,7	24	27,3	16	19,3
4.	Производственный	0	0,0	0	0,0	7	8,0	7	8,0
5.	Фитотопоним	0	0,0	2	5,4	3	3,4	4	4,5
6.	Символический топоним	1	3,4	1	2,7	4	4,5	2	2,3
7.	Агроним	0	0,0	1	2,7	2	2,3	2	2,3
8.	Дромоним	1	3,4	1	2,7	1	1,1	1	1,1
9.	Хороним	1	3,4	1	2,7	1	1,1	1	1,1
10.	Этнотопоним	1	3,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0
11.	Почвенно-грунтовый	0	0,0	0	0,0	1	1,1	1	1,1
12.	Торгово-транспортный	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	1,1
13.	Зоотопоним	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	1,1
ВСЕГО		29	100,0	37	100,0	87	100,0	88	100,0

Анализ топонимии Казахстана на рубеже XIX-XX вв. позволил выделить восемь классов существовавших в этот период астионимов. Более всего на карте этого периода существовало городов-«оронимов» (названия которых связаны с элементами рельефа) – 31 %, «гидронимов» (их названия связаны с водоёмами) – 27,6% и «антропотопонимов», названных по чьему-либо имени или фамилии – 24,1%. Увеличение количества городов привело к разнообразию семантических классов топонимов, хотя изменения в структуре этих классов топонимов были незначительны: название 27,3 % городов относились к «гидронимам», еще столько же к «антропотопонимам» и 22,7 % к «оронимам» (табл. 1).

В результате переименований количество городов – «гидронимов» увеличилось с 24 до 27 и составило 30,7%. Так, областной центр бывшей Гурьевской (ныне Атырауской) области г. Гурьев осенью 1991 года был переименован в Атырау (с казахского переводится «дельта»). Топоним подчеркивает микроположение города в дельте реки Урал (по-казахски Жайык) [9; 10; 18]. Осенью 1997 года г. Алексеевка в Акмолинской области был переименован в Акколь («белое озеро»). Расположенный на берегу р. Иртыш, в Павлодарской области, г. Ермак в 1993 году был переименован в Аксу («белая вода»). В то же время, один из городов в Павлодарской области, расположенный на берегу р. Иртыш – г. Иртышск, с 1993 года стал селом. В начале 2020 года указом президента поселок Затобольск Костанайской области получил статус города и переименован в Тобыл (по названию реки Тобол) [9; 10; 21].

Число «оронимов» увеличилось с 20 до 24 (26,1%). К примеру, областной центр образованной в 1990 г. Мангистауской области г. Шевченко в 1991 г. был переименован в Актау («белая гора») [9; 10; 18; 21].

Все это стало возможным благодаря уменьшению количества городов – «антропотопонимов» (с 24 до 17) и «символических» топонимов с идеологическим содержанием, удельный вес которых уменьшился с 27,6 до 19,3% и с 4,6 до 2,3% соответственно. «Фитотопонимом» стал бывший Октябрьск Актюбинской области, переименованный в Кандыгааш (буквально – «кровавое дерево», т.е. ольха) [9, 18]. Появились два новых класса топонимов. «Торгово-транспортный» топоним связан с переименованием г.Жамбыл в Та-

раз). Древний Тараз («весы» – неперенный атрибут восточного ба-
зара), археологические свидетельства существования которого бы-
ли найдены на территории современного города, был одним из го-
родов на Великом Шелковом пути. «Зоотопоним» – г. Тайыншы
(«двухгодовалый телёнок») появился в мае 1997 г. на месте Красно-
армейска Северо-Казахстанской области [9; 10; 21].

Основными видами трансформации астионимов в постсовет-
ское время стали агглютинация, перевод, фонетическая и морфо-
логическая трансформация (рис. 1). Трансформация коснулась 39-
ти городов (44,8%), из них практически половину составила фоне-
тическая трансформация, или по сути транскрибирование, т.е. при-
ведение действовавшего в советское время русского произношения
названия города в соответствие с казахским произношением. На-
пример, Чимкент стал Шымкентом [9]. В этом ряду в качестве при-
меров стоит отметить транскрибирование в названии следующих
городов: Джезказган – Жезказган (с сентября 1992 г.), Джамбул –
Жамбыл (с мая 1993 г.), Кокчетав – Кокшетау (с октября 1993 г., Ку-
станай – Костанай (с июня 1997 г.), Актюбинск (название с 1891 го-
да) – Актобе (с марта 1999 г.) [9]. Сюда же стоит отнести изменение
в 1992 году названия самого крупного города, в то время еще столи-
цы Казахстана, Алма-Ата на Алматы [9].

К примерам агглютинации относятся переименования в мае
1993 года нынешнего областного центра Алматинской области
г. Талды-Курган в Талдыкорган и переименование областного цент-
ра одноименной области, г. Кызыл-Орда в Кызылорда в июне 1997
года [9].

К морфологической трансформации следует отнести пере-
именование в июне 2007 года города Семипалатинск в Семей (для
увеличения инвестиционной привлекательности города) и офици-
ального казахского названия города Усть-Каменогорск в Өскемен,
Уральска в Орал, в то же время официальные русские название со-
хранились.

К такому же виду трансформации как перевод можно отнес-
ти изменение названия города Новый Узень на Жанаозен в октябре
1993 года [9, 18].

Чуть более трети переименований составило официальное пе-
реименование. Еще в советское время, в сентябре 1990 года город

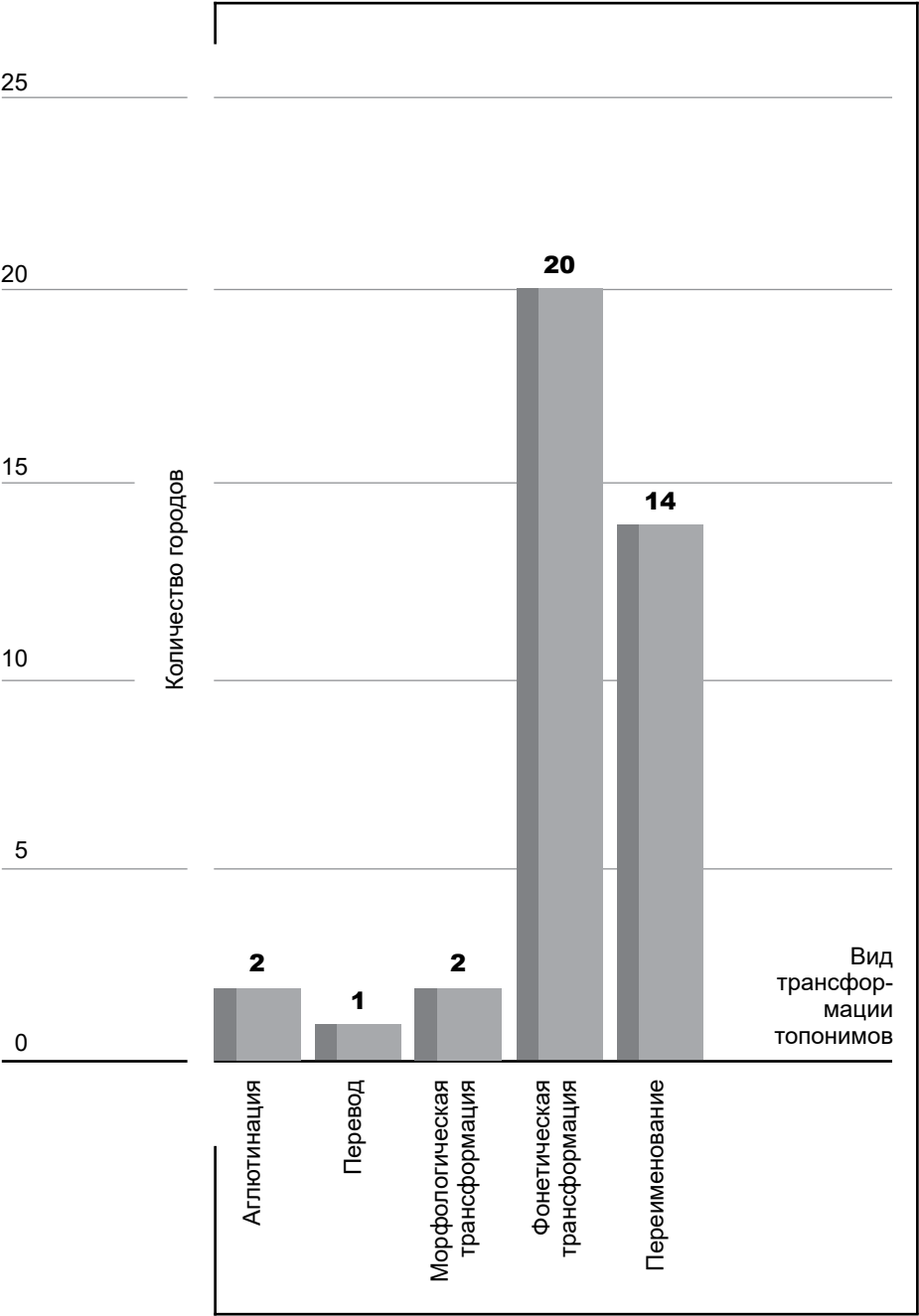


Рисунок 1. Структура видов постсоветской трансформации астионимов Казахстана (слева направо): агглютинация, перевод, морфологическая трансформация, фонетическая трансформация, переименования.

Figure 1. The structure of the types of post-Soviet transformation of astionyms in Kazakhstan.

Никольский (тогда еще в составе Джезказганской области) был переименован в Сатпаев, в честь академика К.И. Сатпаева, внёсшего большой вклад в развитие горнодобывающей промышленности Казахстана [9]. В сентябре 1991 года город Шевченко был переименован в Актау, а в октябре того же года город Гурьев переименовали в Атырау [9, 18]. В 1992 году Целиноград переименовали в Акмолу, таким образом вернули городу прежнее историческое название, но уже в соответствии с казахским произношением топонима. В мае 1993 года город Ермак в Павлодарской области был переименован в Аксу. В январе 1997 года городу Жамбыл было возвращено имя древнего города Тараз, прежде существовавшего на его месте. Получившая в декабре 1997 году статус столицы г. Акмола 6 мая 1998 года была переименована в Астану (в переводе с казахского «столица»), а в марте 2019 года, в честь первого президента Республики Нурсултана Назарбаева, её переименовали в Нур-Султан. В 1999 году прежде закрытый военный город Эмба-5 (Актюбинская область) был переименован в Жем. В июне 2002 году городу Лениногорск вернули прежнее, существовавшее до 1941 года, название Риддер [9]. В январе 2019 года «сердце Рудного Алтая» город Зыряновск в рамках туристического брендинга территории был переименован в Алтай.

Анализируя все перепетии астионимов Казахстана, следует обратить внимание и на устойчивые астионимы. При второй, постсоветской волне трансформации чуть больше половины (48 из 87) астионимов сохранили свои прежние названия, при этом 11 городов (12,6% от общего количества в 2019 г.) сохраняют еще дореволюционные названия. Это Уральск, Павлодар, Петропавловск, Туркестан, Атбасар, Щучинск, Темир, Каркаралинск, Казалинск, Экибастуз, Зайсан. А если не учитывать фонетическую трансформацию (Шымкент, Кокшетау, Актобе, Костанай, Шалкар, Сарканд, Житикара), то их количество увеличится до 18 (20,7%).

В структуре устойчивых топонимов преобладают «оронимы» – 44,4%, т.е. 8 из 18 астионимов Казахстана, сохранившихся еще со времен Российской империи, относятся к этому классу. Еще треть, 6 из 18 – составляют «гидронимы».

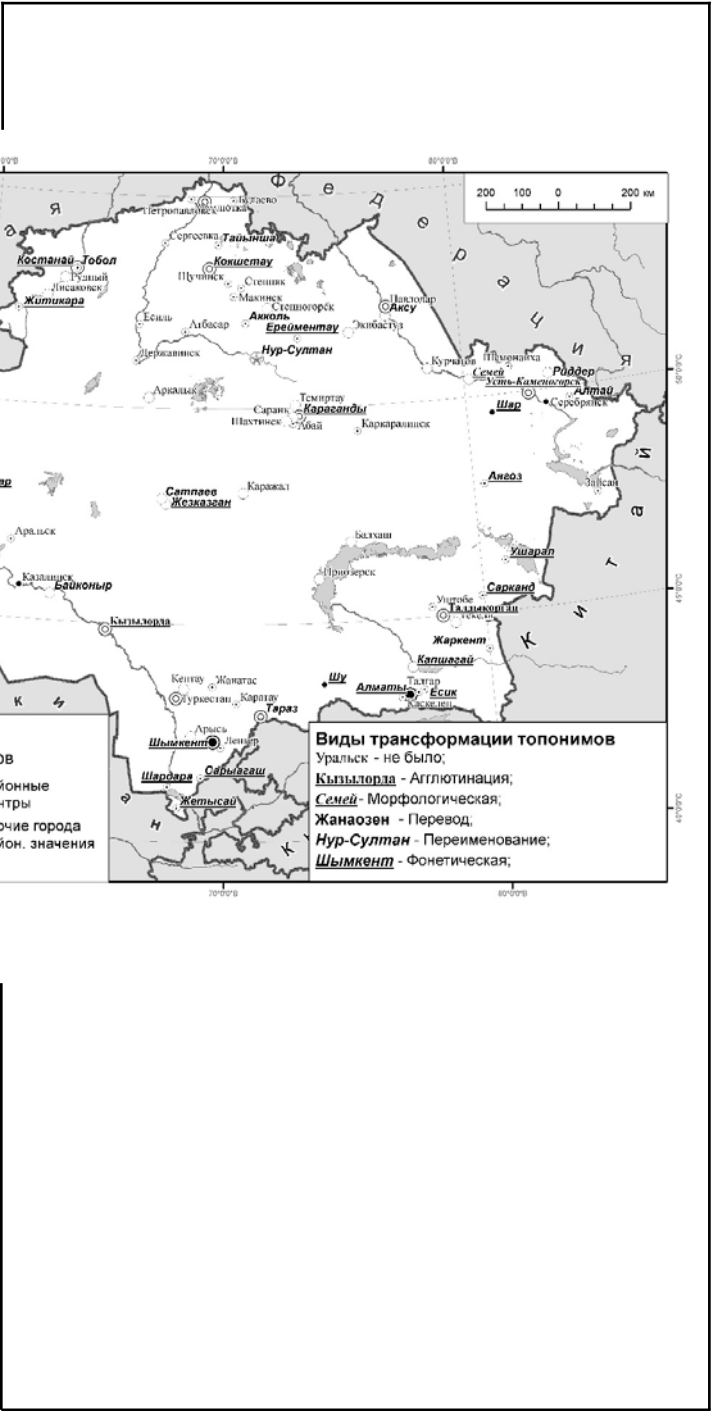


Рисунок 2. Постсоветская трансформация астионимов Казахстана.
Figure 2. Post-Soviet transformation of astionyms in Kazakhstan.

Выводы

- 1) Анализ трансформации астионимов Казахстана на протяжении исследуемого периода (конец XIX – начало XXI в.) показал, что этот процесс характеризовался довольно высокими темпами, которые обуславливали, прежде всего, геополитические и социально-экономические изменения на территории республики. Особенно серьёзная трансформация произошла в постсоветский период.
- 2) Топонимия как важный маркер геокультурного пространства отражает его изменения. Казахстан – это страна с трансформированным топонимическим пространством. Большая часть переименований связана с десоветизацией, а, значит, в подавляющем большинстве случаев дерусификацией. В государстве происходит казахизация.
- 3) Переименования происходят по большей части «сверху», на основании принятых законов и нормативных актов.
- 4) Среди выделенных нами условных классов топонимов наиболее подверженными трансформации оказались «антропотопонимы», а наиболее устойчивыми – «гидронимы» и «оронимы».
- 5) Элементы предыдущих топонимических и культурных пластов, в том числе условно названного нами «славянского», пока сохраняются, хотя и характеризуются сжатием. Ряд географических объектов сохраняют прежние названия. Однако существующая в настоящее время тенденция позволяет сделать вывод, что процесс может стать тотальным и необратимым.

Библиографический список

1. Басик С.Н. Критическая топонимика как направление географических исследований: проблемы и перспективы // Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. №1(44). С. 56–63. doi10.17072/2079-7877-2018-1-56-63.

2. Гладышева Е.Н., Назаревский О.Р. Городские поселения Казахстана – новостройки сталинских пятилеток // Вопросы географии. Сборник девятнадцатый. Преобразование природы и хозяйства Союза ССР, 1950. С. 111–166.
3. Герасименко Т.И., Калуцков В.Н., Коломейцева О.В., Матасов В.М., Митин И.И., Морозова М.М., Святоха Н.Ю., Ямсков А.Н. Топонимия Ближнего Зарубежья: 100 лет переименований. Атлас-справочник. М.: б.и., 2020. 255 с. ISBN 978-5-6044923-0-7 [Электронный ресурс] URL обращения: <https://gumgeo.ru/public/files/pomnili/Atlas.pdf> (дата обращения: 20.12.2020).
4. Жучкевич В. А. О методологии топонимических исследований // Ономастика Поволжья: Материалы I Поволжской конференции по ономастике. (Вып. 1) / отв. ред.: В. Ф. Барашков, В. А. Никонов. Ульяновск, 1969. С. 114–122.
5. Закон Республики Казахстан от 11 июля 1997 года № 151-І О языках в Республике Казахстан (с изменениями и дополнениями по состоянию на 30.12.2020 г.) [Электронный ресурс] URL обращения: https://online.zakon.kz/document/?doc_id=1008034 (дата обращения: 20.12.2020).
6. Законодательство Российской Федерации о наименованиях географических объектов [Электронный ресурс] URL обращения: <https://rosreestr.gov.ru/site/activity/naimenovaniya-geograficheskikh-obektov/zakonodatelstvo-ru-o-naimenovaniyakh-geograficheskikh-obektov> (дата обращения: 20.12.2020)
7. Информационные бюллетени изменений наименований географических объектов [Электронный ресурс] URL обращения: <https://rosreestr.gov.ru/site/activity/naimenovaniya-geograficheskikh-obektov/informatsionnye-byulleteni-izmeneniy-naimenovaniy-geograficheskikh-obektov/> (дата обращения: 20.12.2020).
8. Казахская ССР. Административно-территориальное деление на 1 января 1989 года. Справочник. 8-е изд. / сост. Подосенов Ю.Я. Алма-Ата: Казахстан, 1989. 512 с.
9. Казахстан. Национальная энциклопедия. Т. 1; Т. 2; Т. 3; Т. 4; Т. 5. / гл. ред. Б. Аяган. Алматы: Главная редакция «Қазақ Энциклопедиясы», 2004–2006.
10. Мурзаев Э.М. Словарь народных географических терминов. М.: Мысль, 1984. С. 59.
11. Народы Средней Азии и Казахстана: В 2 т. / под ред.

- С.П. Толстова и др. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1962–1963. 1963. Т. 2. 779 с.
12. Поспелов Е.М. Географические названия мира: Топонимический словарь. М.: Русские словари, 2001. С. 3-5.
 13. Постановление Правительства Республики Казахстан от 21 апреля 1998 г. № 368 О Республиканской ономастической комиссии при Правительстве Республики Казахстан (с изменениями и дополнениями по состоянию на 04.09.2014 г.) [Электронный ресурс] URL обращения: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/P980000368> (дата обращения: 20.12.2020)
 14. Распоряжение Администрации Президента РФ от 17.08.1995 № 1495 «О написании названий государств – бывших республик СССР и их столиц [Электронный ресурс]: Законодательство РФ. URL: <https://rulaws.ru/president/Rasporyazhenie-AdministratsiiPrezidenta-RF-ot-17.08.1995-N-1495/> (дата обращения: 23.03.2020).
 15. Россия. Полное географическое описание нашего отечества: Настольная и дорожная книга для русских людей: [В 19-ти т.] / под ред. В.П. Семенова и под общ. руководством П. П. Семенова. Т. 18: Киргизский край : [Уральская, Тургайская, Акмолинская и Семипалатинская обл.] / сост. А.Н. Седельников, Л.П. Осипова, А.Н. Букейхапов [и др.]. 1903. VIII, 479 с.: ил., карт.; 6 л. ил., карт.
 16. Россия. Полное географическое описание нашего отечества: Настольная и дорожная книга для русских людей : [В 19-ти т.] / Под ред. В. П. Семенова и под общ. руководством П. П. Семенова. Т. 19: Туркестанский край / сост. кн. В. И. Масальский. 1913. X, 861 с.: ил., карт.; 7 л. ил., карт.
 17. Смирнягин Л.В. Трансформация общественного пространства России // Отечественные записки. 2007. № 1. С. 35–48.
 18. Терещенко Т.А., Искалиев Д.Ж., Есмагамбетова М.А. Современные тенденции в топонимии Западного Казахстана // Природное и культурное наследие: междисциплинарные исследования, сохранение и развитие. Коллективная монография по материалам IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена, 28-29 октября 2020 года / отв. ред. В.П. Соломин, Н.О. Верещагина и др. СПб: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2020. С. 204–208.

19. Тоқтаров, Ермек. Топонимика в языковой политике Казахстана – Электронный ресурс. URL: <https://el.kz/kz/news/archive/content-21517> (дата обращения: 29.01.2021).
20. Численность городского населения союзных республик, их территориальных единиц, городских поселений и городских районов по полу. Материалы Всесоюзной переписи населения 1989 г. URL обращения: http://demoscope.ru/weekly/ssp/sng89_reg2.ph (дата обращения: 29.01.2021).
21. Численность населения Республики Казахстан по полу в разрезе областей, городов, районов и районных центров и поселков на начало 2020 года. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. Серия 21. Демографическая статистика. Астана, 2020.

References

1. Basik S.N. Critical toponymy as a direction of geographical research: problems and prospects // *Geographical Bulletin*. 2018. No. 1 (44). Pp. 56–63. doi10.17072 / 2079-7877-2018-1-56-63.
2. Gladysheva E.N., Nazarevsky O.R. Urban settlements of Kazakhstan – new buildings of the Stalinist five-year plans // *Questions of geography. Nineteenth collection. Transformation of nature and economy of the USSR*, 1950. P. 111–166.
3. Gerasimenko T.I., Kalutskov V.N., Kolomeitsev O. V., Matasov V.M., Mitin I.I., Morozova M.M., Svyatokha N.Yu., Yamskov A.N.. *Toponymy of the Near Abroad: 100 Years of Renaming. Atlas-reference*. M.: b.i., 2020. 255 p. ISBN 978-5-6044923-0-7 [Electronic resource] URL address: <https://gumgeo.ru/public/files/pomnili/Atlas.pdf> (date of access: 20.12.2020).
4. Zhuchkevich V.A. On the methodology of toponymic research // *Onomastics of the Volga region: Materials of the I Volga conference on onomastics. (Issue 1) / Resp. ed.: V.F. Barashkov, V.A. Nikonov. Ulyanovsk*, 1969. P. 114–122.
5. Law of the Republic of Kazakhstan dated July 11, 1997 No. 151-І On languages in the Republic of Kazakhstan (with amendments and additions as of December 30, 2020) [Electronic resource] Address URL: https://online.zakon.kz/document/?doc_id=1008034 (date accessed: 12/20/2020).
6. Legislation of the Russian Federation on the names of

geographical objects [Electronic resource] URL address: <https://rosreestr.gov.ru/site/activity/naimenovaniya-geograficheskikh-obektov/zakonodatelstvo-rf-o-naimenovaniyakh-geograficheskikh-obektov> (date of access: 12/20/2020).

7. Newsletters of changes in the names of geographic objects [Electronic resource] URL address: <https://rosreestr.gov.ru/site/activity/naimenovaniya-geograficheskikh-obektov/informatsionnye-byulleteni-izmeneniy-naimenovaniy-geograficheskikh-obektov/> (date of access: 12/20/2020).
8. Kazakh SSR. Administrative division on January 1, 1989. Directory. – 8th ed. / Comp. Podosenov Yu.Ya. Alma-Ata: Kazakhstan, 1989. 512 p.
9. Kazakhstan. National Encyclopedia. Volume 1; Volume 2; Volume 3; Volume 4; Volume 5 / Ed. B. Ayagan. Almaty: Main editorial board of “Kazakh Encyclopedias”, 2004–2006.
10. Murzaev E.M. Dictionary of folk geographic terms. M.: Mysl', 1984. P. 59.
11. Peoples of Central Asia and Kazakhstan: In 2 volumes / Ed. SP Tolstova et al. M.: Publishing house Acad. Sciences of the USSR, 1962–1963. 1963. Vol. 2. 779 p.
12. Pospelov E.M. Geograficheskiye nazvaniya mira: Toponimicheskii slovar' [Geographical names of the world: Toponymic dictionary]. M.: Russian dictionaries, 2001. S. 3-5.
13. Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated April 21, 1998 No. 368. On the Republican Onomastic Commission under the Government of the Republic of Kazakhstan (with amendments and additions as of 04.09.2014) [Electronic resource] Address URL: http://adilet.zan.kz/rus/docs/P980000368_ (date accessed: 20.12.2020).
14. Order of the Presidential Administration of the Russian Federation of August 17, 1995 No. 1495 “On the spelling of the names of states – the former republics of the USSR and their capitals [Electronic resource]: Legislation of the Russian Federation. URL: <https://rulaws.ru/president/Rasporyazhenie-AdministratsiiPrezidenta-RF-ot-17.08.1995-N-1495/> (date accessed: 03/23/2020).
15. Rossiya. Polnoye geograficheskoye opisanie nashego otechestva: Nastol'naya i dorozhnaya kniga dlya russkikh lyudey: [Russia. Complete geographical description of our fatherland: Handbook and road book for Russian people:] [In 19 volumes] / Ed. V.P. Semenov and under the general leader-

- ship of P.P. Semenov. T. 18: Kyrgyz Territory: [Ural, Turgai, Ak-mola and Semipalatinsk regions] / Comp. A.N. Sedelnikov, L. P. Osipova, A. N. Bukeikhanov [and others]. 1903. VIII, 479 p.: ill., Maps; 6 l. ill., cards.
16. Rossiya. Polnoye geograficheskoye opisaniye nashego otechestva: Nastol'naya i dorozhnaya kniga dlya russkikh lyudey: [Russia. Full geographical description of our fatherland: Handbook and road book for Russian people:] [In 19 volumes] / Ed. V.P. Semenov and under the general leadership of P.P. Semenov. T. 19: Turkestan Territory / Comp. book V.I. Masalsky. 1913. X, 861 p.: Ill., Maps.; 7 p. ill., cards.
 17. Smirnyagin L.V. Transformation of the public space of Russia // Otechestvennye zapiski. 2007. No. 1. P. 35–48.
 18. Tereshchenko T.A., Iskalyev D.Zh., Esmagambetova MA. Modern trends in toponymy of Western Kazakhstan // Natural and cultural heritage: interdisciplinary research, preservation and development. Collective monograph based on the materials of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, St. Petersburg, RGPU im. A.I. Herzen, October 28–29, 2020 / Ed. ed. V.P. Solomin, N.O. Vereshchagin et al. SPb: Publishing house of the RGPU im. A. I. Herzen, 2020. C. 204–208.
 19. Toqtarov E. Toponymy in the language policy of Kazakhstan – Electronic resource. URL: <https://el.kz/kz/news/archive/content-21517> (date accessed: 01/29/2021).
 20. The size of the urban population of the Union republics, their territorial units, urban settlements and urban areas by sex. Materials of the All-Union Population Census of 1989. URL of the request: http://demoscope.ru/weekly/ssp/sng89_reg2.php (date of access: 01/29/2021).
 21. The population of the Republic of Kazakhstan by sex in the context of regions, cities, districts and district centers and villages at the beginning 2020 year. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. Series 21. Demographic statistics. Astana, 2020.

Сведения об авторах

Герасименко Татьяна Ильинична – профессор, доктор географических наук, Оренбургский государственный университет; 460018, Россия, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13.
e-mail: tanyag26@yandex.ru.
<https://orcid.org/0000-0002-5462-0884>.
Web of Science ResearcherID : Q-2098-2015.

Искалиев Динмухамед Жумабаевич – старший преподаватель кафедры географии, Западно-Казахстанский университет им. М. Утемисова; 090000, Республика Казахстан, г. Уральск, пр. Н. Назарбаева, д.162.
e-mail: iskaliyev84@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2875-9866>.
SPIN-код: 5135-0120, AuthorID: 1051421.
Web of Science ResearcherID: AAG-5342-2019.
Телефон: +77478039963.

About the authors

Gerasimenko Tatyana Ilyinichna – Professor, Doctor of Geographical Sciences, Orenburg State University; 460018, Russia, Orenburg, Pobedy av., 13.
e-mail: tanyag26@yandex.ru.
<https://orcid.org/0000-0002-5462-0884>.
Web of Science ResearcherID : Q-2098-2015.

Iskaliyev Dinmukhamed Zhumabaevich – Senior Lecturer of the Department of Geography, Makhambet Utemisov West Kazakhstan University; 090000, Republic of Kazakhstan, Uralsk, N. Nazarbayev Ave., 162
e-mail: iskaliyev84@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2875-9866>.
SPIN-код: 5135-0120, AuthorID: 1051421.
Web of Science ResearcherID: AAG-5342-2019.
Tel.: +77478039963.

25.00.24
УДК913(470.63)

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ
И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

Зольникова Ю.Ф. Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь,
Россия; zolnst@mail.ru

**ИСТОРИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОМИНЕРАЛЬНЫХ
РЕСУРСОВ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА
В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XIX ВЕКА**

DOI: 10.37493/2308-4758.2021.3.3

Введение.	Северный Кавказ является одним из старейших рекреационных районов страны и отличается запасами и разнообразием рекреационных ресурсов. Гидроминеральные ресурсы – важнейший вид рекреационных ресурсов Северного Кавказа. В лечебных целях они использовались здесь еще в древности, в XIV в. появились первые описания, с XVIII в. началось их исследование и освоение; XIX в. характеризуется значительными открытиями и исследованиями гидроминеральных ресурсов Северного Кавказа.
Материалы и методы.	Гидроминеральные ресурсы вызывают интерес не только в лечебном аспекте, актуально исследовать их и в историческом плане. Исторический подход позволяет рассмотреть особенности открытия и изучения гидроминеральных ресурсов, проследить развитие научных представлений о минеральных водах, о характере их использования в разное время. Анализ исторических источников позволил выявить особенности исследования гидроминеральных ресурсов и определить вклад отдельных ученых в исследование минеральных вод Северного Кавказа в первой половине XIX в.
Результаты исследования.	Обобщены научные труды ученых, геологов, химиков и врачей, исследовавших гидроминеральные ресурсы Северного Кавказа в первой половине XIX в. Исследуемый период характеризуется сочетанием исследования известных минеральных источников и крупными открытиями новых типов минеральных вод на Северном Кавказе.
Обсуждение и заключения.	Изучение и накопление сведений о гидроминеральных ресурсах Северного Кавказа происходило постепенно. В первой половине XIX в. на Северном Кавказе были открыты и исследованы новые источники, сложились общие представления о минеральных водах и была заложена научность в их изучении.
Ключевые слова:	Северный Кавказ, Кавказские Минеральные Воды, гидроминеральные ресурсы, минеральные воды, рекреационные ресурсы.

Zolnikova Yu.F.

North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia this;
zolnst@mail.ru

Historical and Geographical Aspects of the Study of Hydromineral Resources of the North Caucasus in the First Half of the XIX Century

Introduction.

The North Caucasus is one of the oldest recreational areas of the country and is characterized by reserves and a variety of recreational resources. Hydromineral resources are the most important type of recreational resources of the North Caucasus. They were used here for medicinal purposes in ancient times, the first descriptions appeared in the XIV century, their research and development began in the XVIII century; the XIX century is characterized by significant discoveries and research of hydromineral resources of the North Caucasus.

Materials and methods.

Hydromineral resources are of interest not only in the therapeutic aspect, it is also important to study them in historical terms. The historical approach allows us to consider the features of the discovery and study of hydromineral resources, to trace the development of scientific ideas about mineral waters, about the nature of their use at different times. The analysis of historical sources made it possible to identify the features of the study of hydromineral resources and to determine the contribution of individual scientists to the study of mineral waters of the North Caucasus in the first half of the XIX century.

Research results.

The scientific works of scientists, geologists, chemists and doctors who studied the hydromineral resources of the North Caucasus in the first half of the XIX century are summarized. The period under study is characterized by a combination of research of well-known mineral springs and major discoveries of new types of mineral waters in the North Caucasus.

Discussion and conclusions.

The study and accumulation of information about the hydromineral resources of the North Caucasus occurred gradually. In the first half of the XIX century, new springs were discovered and explored in the North Caucasus, general ideas about mineral waters were formed and scientific knowledge was laid in their study.

Key words:

North Caucasus, Caucasian Mineral Waters, hydromineral resources, mineral waters, recreational resources.

Введение

Северный Кавказ – один из старейших рекреационных районов страны, на территории которого сосредоточены разнообразные рекреационные ресурсы: гидроминеральные, грязевые, климатические и другие. Рекреационные ресурсы Северного Кавказа исследовались неравномерно и неодновременно. Первые и наиболее полные упоминания и описания, а в последующем и медико-

химические исследования, в научной литературе затрагивают гидроминеральные ресурсы.

Первая половина XIX в. в исследовании гидроминеральных ресурсов определяется как период планомерного изучения минеральных вод. В исследуемый период в открытии и исследовании гидроминеральных ресурсов участвуют врачи, химики, путешественники, а также гидрогеологи. В первой половине XIX в. на Северном Кавказе продолжают исследование минеральных источников, открытых в XVIII в. или известных ранее, параллельно открывались и изучались новые типы минеральных вод. В это время расширялась география открытия и вовлечения гидроминеральных ресурсов в лечебную деятельность, активно проводились гидрогеологические работы, цель которых заключалась в глубоком и комплексном изучении гидроминеральных ресурсов.

Материалы и методы исследования

В качестве источников использовались и анализировались научные труды и монографии исследователей Северного Кавказа в первой половине XIX в.: Г.В. Абиха, Ф.А. Баталина, Н.Е. Дроздова, А.П. Нелюбина, П.Н. Савенко, А.К. Шлегельмильха и др., внесших большой вклад в изучение гидроминеральных ресурсов исследуемой территории. Изучены архивные материалы; акты, собранные Кавказской Археографической Комиссией, в которых отражены результаты исследования гидроминеральных ресурсов региона в исследуемый период. В результате, на основе разнообразного историко-географического материала обобщены сведения, исследованы особенности изучения гидроминеральных ресурсов Северного Кавказа в первой половине XIX в.

Результаты исследований и их обсуждение

Следует отметить, что исследование гидроминеральных ресурсов большинства территорий Северного Кавказа в первой половине XIX в. имели только описательный характер, хотя встречались и отдельные характеристики физико-химических свойств некоторых источников. К этому времени уже имелись сведения об источниках горных территорий. Так, описания Брагунских (Св. Петра), Терских или Горячеводских (Св. Екатерины) и др. источников Чечни были даны лейб-медиком Г. Шобером, академиком

ми А.И. Гильденштедтом и И.П. Фальком еще в XVIII в. Первый химический анализ этих источников был сделан Р. Германом в 1829 г., а в 1853 г. – профессором Н.Н. Зининым [3, 10]. Всесторонние описания минеральных источников Северной Осетии имеются в трудах грузинского географа, историка и путешественника XVIII в. Б. Вахушти. Во время своих путешествий по Кавказу он обратил особое внимание на большое количество выходов минеральных вод. В статье «Описание современной Осетии или жителей внутреннего Кавказа» отмечалось, что имеется много чистых солоноватых источников по всей Осетии, воду источников пьют люди и животные, и она оказывает на них благоприятное влияние [4].

В конце 20-х годов XIX в. появляются и первые описания гидроминеральных ресурсов других территорий Северного Кавказа. Так, в 1829 г. встречаются упоминания о Псекупских минеральных водах (курорт Горячий Ключ). Сведения об этих водах были собраны поручиком артиллерии Новицким, путешествующим за Кубанью. Он знакомился с горскими племенами, проживающими на этой территории; а также проводил топографические съемки местности. Проводя исследования, Новицкий посетил минеральные воды, находящиеся в местах его путешествия, расспросил о них у проводников-горцев, и узнал об их целебных свойствах.

В 1848 г. К. Миассеров исследовал положение Псекупских источников и взял минеральную воду из двух источников для исследований. Количественный анализ минеральной воды был проведен в Черноморской военной управе. В рапорте об анализе этих вод И. Сварицкий-Сварик отмечал, что «...минеральная вода в двух склянках..., исследована им физически и химически; но подробное химическое разложение вод... из-за отсутствия нужных для этого химических инструментов и малого количества привезенной воды сделать было невозможно, это лучше и вернее сделать при самих источниках» [17]. Таким образом, первый анализ воды открытых минеральных источников был проведен неудачно. В ходе исследования было выявлено присутствие серы, хлора и угольного ангидрида. На основании проделанных опытов, а также показаний К. Миассерова Врачебная управа признала воды серно-горячими.

В 1840 г. инспектор Черноморской войсковой врачебной управы И. Сварицкий-Сварик открыл на Таманском полуострове серно-

кислый и железисто-кислый источники [5]. В рапорте Наказному Атаману Черноморского казачьего войска в августе 1840 г. он сообщал об открытии им более 10 мелких засоренных кипящих источников, «...самый примечательный из которых чрезвычайно кипит, но вода мутна, иловата и с частицами нефти» [18]. По его исследованиям вода этих и других имеющихся здесь источников содержала много углекислоты и железа и была бы очень полезна в лечебном применении. Тем не менее, несмотря на выявленные лечебные свойства вод этих источников, из-за малого ее количества она не была введена в общее употребление.

Первое литературное упоминание о серных источниках в долине р. Мацеста встречается в дневниках английского путешественника Дж. Белла в 1837 г. Он, путешествуя по Кавказу, обратил внимание на то, что южнее Сочи протекает речка, вода которой отдает сильным запахом сероводорода. Путешественник сделал предположение, что где-то в окрестностях речки должны быть серные источники [8].

Первые литературные сведения об Ахтынских минеральных источниках на территории Дагестана даны в работе К.И. Грум-Гржимайло (1855). В ней указан только один источник с температурой 40 °С [6].

Таким образом, в первой половине XIX в. в отдельных районах Северного Кавказа были открыты, исследовались и постепенно осваивались гидроминеральные ресурсы, которые в последующем получили широкую известность и активно использовались в лечебных целях.

Несмотря на то, что на Северном Кавказе в первой половине XIX в. открывались и исследовались гидроминеральные ресурсы разных территорий, некоторые из них вовлекались в лечебную деятельность, тем не менее, основной территорией в исследовании гидроминеральных ресурсов в исследуемый период продолжал оставаться регион Кавказские Минеральные Воды (КМВ).

В первые десятилетия XIX в. регион Кавказские Минеральные Воды посещали и изучали многие знаменитые путешественники, естествоиспытатели, опытные врачи, которые в основном занимались всесторонним изучением территории. Вместе с тем вклад отдельных исследователей в изучение гидроминеральных ресурсов КМВ в эти годы неоценим.

В это время здесь вел исследования академик В.И. Севергин [14], который изложил научные результаты своей поездки на Кавказ в труде «Опыт минералогического землеописания Российского государства» (1809). Серный источник и кислый ключ нарзана в 1807-1808 гг. достаточно полно в гидрографическом плане был описан академиком Ю. Клапротом. В 1811 г. академик А.К. Шлегельмилхем провел минералогическую характеристику горных пород, из которых состоят горы Пятигорья [16]. Данное геологическое описание региона Кавказские Минеральные Воды А.К. Шлегельмилха было первым значимым трудом о геологическом строении этой территории после работ, которые проводились еще в XVIII в. И.А. Гильденштедтом и П.С. Палласом.

Исследования гидроминеральных ресурсов региона Кавказские Минеральные Воды в 1809-1810 гг. проводились Ф.П. Гаазом. Он подробно описал все известные к тому времени источники КМВ; изучил их химический и газовый состав, измерил дебит и температуру воды. Ф.П. Гааз впервые описал Железноводские и Ессентукские минеральные источники. Труд Ф.П. Гааза «Ma visite aux eaux d'Alexandere en 1808 et 1810» (1811) является одной из первых крупных работ, содержащих историю открытия и изучения гидроминеральных ресурсов территории, описание природы, результаты химических исследований и т. п.

В 20-х годах XIX в. врач Ф.О. Конради исследовал и описал Кумагорский источник [9]. Минеральная вода источника была отправлена для исследования в Петербург (анализ воды сделал А.П. Нелюбин). В начале 1824 г. в Петербургских газетах вышла статья с первым описанием Кумагорского источника. В том же году была опубликована и работа Ф.О. Конради «О Кавказских Минеральных Водах».

Последующие значительные исследования гидроминеральных ресурсов в регионе Кавказские Минеральные Воды были сделаны А.П. Нелюбиным. На КМВ он открыл ряд новых источников и первым их исследовал. В числе открытых А.П. Нелюбиным источников – 7 источников Железноводска и 23 (№1 – 23) в Ессентуках. Ессентукские источники он разделил на две группы: щелочные (№1 – 18) и серно-щелочные (№19 – 23). Также А.П. Нелюбин открыл недалеко от Кисловодска новые месторождения Березовских

нарзанов и исследовал их [7, 12]. Заслугой А.П. Нелюбина является описание химического состава минеральных вод в 1823 г. непосредственно на месте, в районе выхода источников. Описывая источники, А.П. Нелюбин составил подробные таблицы химических анализов минеральных вод КМВ, включив в них количественные данные по удельному весу, объему растворенных газов, весу «органических произведений», кремнистому остатку [15].

Еще одной важной заслугой А.П. Нелюбина является обобщение сведений о гидроминеральных ресурсах региона Кавказские Минеральные Воды за первую четверть XIX в. Результаты исследований А.П. Нелюбин опубликовал в 1825 г. в капитальном труде «Полное историческое, физико-химическое и врачебное описание Кавказских Вод» [11].

Профессор Петербургской Медико-хирургической академии П.Н. Савенко в 1827 г. описал отдельные источники региона Кавказские Минеральные Воды, способы употребления вод и медицинские показания. П.Н. Савенко попытался разобраться в происхождении гидроминеральных ресурсов, сделал планы расположения минеральных источников всех курортов, в том числе и Кумагорского [13]. В 1828 г. была издана книга «Кавказские Минеральные Воды, описанные Петром Савенко, профессором медицины».

В 1829 г. химик Р. Герман провел химический анализ минеральных вод из некоторых источников региона Кавказские Минеральные Воды. Его исследование было напечатано в книге всех известных минеральных вод г. Белявского в 1834 г. в Москве. Р. Герман первым сделал вполне удовлетворительный анализ Александровского, Елизаветинского и Михайловского серных источников, который отличался от предшествовавшего анализа А.П. Нелюбина более точным определением содержания газов, имел большую научную ценность. Также Р. Германом были исследованы нарзан, воды Железноводских источников №2 и №8 и Кумагорского источника. Химический анализ минеральных вод, проведенный Р. Германом, подтвердил, что все Горячеводские серные источники имеют почти одинаковый состав и отличаются лишь температурой и содержанием газов. Исследование Железноводских источников показало, что различия в химическом составе и содержании углекислоты находятся в зависимости от температуры источников.

В 1849 г. академик Г.В. Абих проводил геологические работы в регионе Кавказских Минеральных Вод. Он сделал крупные геологические исследования в Пятигорском районе; описал термальные воды Кавказа, минеральные источники Южного и Северного Кавказа, в т. ч. регионе Кавказские Минеральные Воды [1]. Г.В. Абихом было сделано геологическое описание Кисловодского района, разделены породы на стратиграфические горизонты; в результате была доказана связь формирования минеральных источников с геологическими структурами территории. Работы Г.В. Абиха в основном давали общую картину геологического строения отдельных районов Северного Кавказа.

В 1855 г. вышла работа К.И. Грум-Гржимайло «Полное систематическое, практическое описание минеральных вод, лечебных грязей и купаний в Российской Империи», в которой автор собрал сведения и систематизировал русские сочинения о регионе Кавказские Минеральные Воды в хронологическом порядке с 1719 г. по 1854 г., включив в список капитальные труды о КМВ, а также заметки, отчеты, которые издавались в периодической печати этого периода [6].

Начиная с химического анализа Александровского источника и Нарзана, проведенного Палласом в 1793 г. до 1854 г. было опубликовано более 45 работ, посвященных различным аспектам изучения региона Кавказские Минеральные Воды, в т. ч. изучению их химического состава – было описано 412 источников минеральных вод, грязей и озер [15].

В 1859 г. вышла работа Н.Е. Дроздова «Кавказские Минеральные Воды», в которой им подробно описана история региона Кавказские Минеральные Воды, сходство КМВ с зарубежными водами, способ употребления минеральных вод и курс лечения; дается описание и химический анализ серных, щелочных, железистых вод и нарзана, а также описание горько-соленой воды (ст. Лысогорская), отмечается, что эта вода при самом источнике не употребляется, а продается в аптеках: Пятигорской, Ессентукской, Железноводской и Кисловодской в бутылках. При этом вода не теряет своих свойств [7].

Обстоятельно исследовал и описал регион Кавказские Минеральные Воды русский ученый Ф.А. Баталин в 1856 г. Ф.А. Баталин особое внимание уделил изучению Пятигорского Провала: дал подробные и точные данные о воде и ее свойствах. Сделал вывод, что источники, поставляющие воду в Провал, не находятся в близ-

кой связи с источниками Горячей горы, но образуют самостоятельную группу обильных ключей. Ф.А. Баталиным была сделана первая попытка сводки и обработки режимных наблюдений над Пятигорскими источниками за несколько лет. Путем анализа собранных им материалов ученый попытался выявить закономерность в режиме источников, связь между источниками, определить влияние атмосферных осадков на режим источников, но из-за отсутствия отдельных данных исследовать эти процессы ему не удалось [2].

Ф.А. Баталиным дано первое, достаточно близкое к действительности, объяснение происхождения Ессентукских источников. Различие в их составе он объяснял тем, что одна и та же щелочная вода, беря свое начало на значительной глубине, подвергается в различной степени разжижению, и, проходя через верхние слои, содержащие поваренную соль, гипс и другие породы, по-разному насыщается и изменяет свой состав. Ф.А. Баталин рекомендовал искусственно каптировать источники и выводить минеральную воду по трубам из глубины, что поможет предотвратить ее загрязнение в верхних слоях почвы и обеспечит устойчивый дебит. Ф.А. Баталиным было открыто несколько новых источников минеральных вод, описаны методы их лечебного использования и показания к применению.

По результатам исследований Ф.А. Баталина на Кавказских Минеральных Водах была издана работа «Пятигорский край и Кавказские Минеральные Воды» (1861), которая в течение многих лет считалась главным справочным изданием по КМВ.

Выводы

Таким образом, изучение и накопление сведений о гидроминеральных ресурсах Северного Кавказа происходило постепенно. В первой половине XIX в. были открыты новые источники, складывались общие представления о гидроминеральных ресурсах и закладывалась научность в их изучении. Постепенно расширялась география в исследовании гидроминеральных ресурсов; упоминаются, даются краткие сведения, а в некоторых случаях и исследования отдельных минеральных источников, находящихся в разных районах Северного Кавказа. Также в первой половине XIX в. были проведены исследования известных источников всех курортов региона Кавказские Минеральные Воды, продолжены ра-

боты по открытию новых источников в Пятигорске и Кисловодске, открыты Железноводские и Ессентукские источники. В пределах КМВ исследовались и другие минеральные источники, в частности, горько-соленый Лысогорский источник. В исследуемый период дается разносторонняя характеристика вод; начинаются геологические изучения района, которые включают вопросы происхождения гидроминеральных ресурсов; выявления связи между источниками; закономерности режима. Появляются и крупные сочинения о регионе Кавказские Минеральные Воды (А.П. Нелюбин, Ф.А. Баталин, Н.Е. Дроздов, П.Н. Савенко и др.). К этому времени в исследовании гидроминеральных ресурсов Кавказских Минеральных Вод был сделан большой шаг, когда значительная роль отводится науке.

Библиографический список

1. Абиx Г.В. Объяснение геологического разреза северной покатости Кавказского кряжа от Эльбруса до Бештау (ЮЮЗ и ССВ)//Кавказский календарь на 1853 год. Тифлис, 1852. С. 440-471.
2. Баталин Ф.А. Пятигорский край и Кавказские Минеральные Воды. СПб., 1861. Ч. I. II. 601 с.
3. Богословский В.С. Лечебные места Европы. Курорты с минеральными водами, климатические станции, морские купанья, лиманы и грязелечебные заведения с кратким изложением основ общей бальнеологии и климатотерапии. СПб., 1888. 424 с.
4. Вахушти Б. География Грузии. Введение, перевод и примеч. М.Г. Джанашвили. Тифлис, 1904. 241 с.
5. Городецкий Б.М. Кто и как изучал Кубанскую область // Изв. ОЛИКО. 1912. Вып. V.
6. Грум-Гржимайло К.И. Полное систематическое, практическое описание минеральных вод и купаний в Российской империи с присовокуплением краткого описания заграничных минеральных вод и патологии хронических болезней. СПб., 1855. Ч. I – 412 с.; ч. II – 233 с.
7. Дроздов Н.Е. Кавказские Минеральные Воды. Царское Село, 1859. 120 с.
8. Ермаков Б. А., Леонов В. А. Сочи – курорт. Краснодар, 1987. 176 с.
9. Конради Ф.О Кавказских Минеральных Водах // Военно-медицинский журнал. 1825. VIII. №1.

10. Лечебные местности России. Справочник. М., 1915. 492 с.
11. Нелюбин А.П. Описание Кавказских Минеральных Вод. СПб., 1825. Ч. I, II. 672 с.
12. Пантелеев И.Я. Очерк истории изучения и развития Кавказских Минеральных Вод. М., 1955. 204 с.
13. Савенко П.Н. Кавказские Минеральные Воды, описанные Петром Савенко, доктором медицины... СПб., 1828. 221 с.
14. Севергин В.М. Опыт минералогического землеописания Российского государства. Ч. 1. СПб., тип. Акад. наук, 1809. 262 с.
15. Широкова В.А. История гидрохимии: поверхностные воды суши России (начало XVIII – середина XX в.). М., 1998. 196 с.
16. Шлегельмильх А.К. О Бештовых горах // Технический журнал. VIII. 1811.
17. ГАКК. Ф. 249. Оп. 1. Д. 1621. Описание двух минеральных источников, открытых в Таманском округе (1840).
18. ГАКК. Ф. 249. Оп. 1. Д. 1868. Описание химического состава Псекупских минеральных источников, находящихся на р. Псекупсе (1848).

References

1. Abikh G. V. Explanation of the geological section of the northern slope of the Caucasian ridge from Elbrus to Beshtau (YUZ and SSV) // Caucasian calendar for 1853. Tiflis, 1852. P. 440–471.
2. Batalin F. A. Pyatigorsk Krai and Caucasian Mineral Waters. St. Petersburg, 1861. Part I. II. 601 p.
3. Bogoslovsky V. S. Medical places of Europe. Resorts with mineral waters, climate stations, sea bathing, estuaries and mud treatment facilities with a brief summary of the basics of general balneology and climate therapy. St. Petersburg, 1888. 424 p.
4. Vakhushti B. Geography of Georgia. Introduction, translation and note by M. G. Dzhanashvili. Tiflis, 1904. 241 p.
5. Gorodetsky B. M. Who and how studied the Kuban region // Izv. OLIKO. 1912. Issue V.
6. Grum-Grzhimailo K. I. A complete systematic, practical description of mineral waters and bathing in the Russian Empire with a brief description of foreign mineral waters and the pathology of chronic diseases. St. Petersburg, 1855. Part I – 412 p.; part II – 233 p.
7. Drozdov N.E. Caucasian Mineral Waters. Tsarskoe Selo, 1859. 120 p.

8. Ermakov B.A., Leonov V.A. Sochi-resort. Krasnodar, 1987. 176 p.
9. Konradi F. About The Caucasian Mineral Waters // Military Medical Journal. 1825. VIII. No. 1.
10. Medical areas of Russia. Reference book. M., 1915. 492 p.
11. Nelyubin A.P. Description Of The Caucasian Mineral Waters. St. Petersburg., 1825. Ch. I, II. 672 p.
12. Panteleev I.Ya. An essay on the history of the study and development of Caucasian Mineral Waters. Moscow, 1955. 204 p.
13. Savenko P.N. Caucasian Mineral Waters described by Peter Savenko, Doctor of Medicine ... St. Petersburg, 1828. 221 p.
14. Severgin V.M. The experience of mineralogical land survey of the Russian state. Part 1. St. Petersburg, type. Academy of Sciences, 1809. 262 p.
15. Shirokova V.A. History of hydrochemistry: surface waters of the Russian land (the beginning of the XVIII – mid – XX centuries). Moscow, 1998. 196 p.
16. Schlegelmilch A. K. About the Besht Mountains // Technical journal. VIII. 1811.
17. GAKK. F. 249. Op. 1. d. 1621. Description of two mineral springs discovered in the Taman district (1840).
18. GAKK. F. 249. Op. 1. d. 1868. Description of the chemical composition of the Psekup mineral springs located on the Psekupse River (1848).

**Поступило в редакцию 18.08.2021,
принята к публикации 18.09.2021**

Об авторе

Зольникова Юлия Федоровна, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры социально-экономической географии и туризма Северо-Кавказский федеральный университет, 355035, г. Ставрополь, ул. Кулакова, 16/1, ауд. 403 Тел. (928) 631-88-30. E-mail: zolnst@mail.ru.

About the authors

Zolnikova Yulia Fedorovna, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Socio-Economic Geography and Tourism, North Caucasus Federal University, Stavropol, 355035, Kulakova str., 16/1, room 403 Tel. (928) 631-88-30. E-mail: zolnst@mail.ru.

25.00.30
УДК 551.583

МЕТЕОРОЛОГИЯ, КЛИМАТОЛОГИЯ, АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ
(ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Ашабоков Б.А.,

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Высокогорный геофизический институт»; Институт информатики и проблем регионального управления КБНЦ РАН, Россия;

Федченко Л.М.,
Кешева Л.А.,

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия;
ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», kesheva.lara@yandex;

Теунова Н.В.

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия

ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА И РЕЖИМА ОСАДКОВ ТЕПЛОГО И ХОЛОДНОГО ПЕРИОДОВ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА

DOI: 10.37493/2308-4758.2021.3.4

Введение.

Изменение климата в настоящее время рассматривается многими государствами как один из важнейших глобальных вызовов нашего века и считается серьезной угрозой для устойчивого развития. В данной работе проведен анализ изменений режима температуры и осадков на территории Северо-Кавказского региона в теплый и холодный периоды за 1961–2019 гг.

Материалы и методы

исследований.

Климатические особенности территории Северо-Кавказского региона обусловлены рядом факторов, основными из которых являются Кавказские горы, служащие климаторазделом между умеренным и субтропическим поясами. При исследовании изменения климата Северо-Кавказского региона были использованы данные временных рядов температур в приземном слое атмосферы и атмосферных осадков в теплый и холодный сезоны периода 1961–2019 гг. Полученные временные ряды были исследованы методами математической статистики и дополнены линейными трендами, характеризующими тенденцию рассматриваемой величины.

Результаты исследований

и их обсуждение.

Средние температуры и количество осадков были рассчитаны за холодный период, который включает октябрь-декабрь предыдущего года и январь-апрель следующего года, и теплый период, с мая по сентябрь, для 11 метеостанций, расположенных в 4 климатических зонах региона. Далее было произведено осреднение полученных значений внутри каждой климатической зоны. Определены климатические нормы (среднее 1961–1990 гг.) для каждой климатической зоны в теплый и холодный период. Во всех климатических зонах

в холодный и в теплый период наблюдается превышение температурной климатической нормы, за исключением высокогорной зоны в холодный период. Для сумм осадков теплый период характеризуется уменьшением сумм осадков, кроме горной зоны. В холодный сезон наблюдается увеличение сумм осадков во всех климатических зонах. Полученные временные ряды были исследованы методами математической статистики и дополнены линейными трендами, характеризующими тенденцию рассматриваемой величины за период 1961–2019 гг. Тренды рассчитывались известным методом наименьших квадратов. Сила тренда, его статистическая значимость, оценивалась величиной D (%), вкладом тренда в объясненную дисперсию: $D = (R^2) 100\%$. На 5%-ном уровне тренд статистически значим для коэффициента детерминации выше $R^2 = 0,065$.

Выводы.

Во всех климатических зонах Северо-Кавказского региона в период 1961–2019 гг. наблюдалось статистически значимое увеличение средних температур, как в холодный, так и в теплый периоды, за исключением холодного периода в высокогорной зоне. Анализ осадков за рассматриваемый период в различных климатических зонах региона показал, что в изменениях сумм осадков сочетались отрицательные и положительные статистически незначимые тенденции. Отрицательные тенденции преимущественно наблюдались в теплый период, кроме горной зоны, где имел место небольшой положительный тренд.

Ключевые слова: климатические зоны, Северо-Кавказский регион, теплый период, холодный период, средняя температура, сумма осадков, линейный тренд.

Ashabokov B.A., Federal State Budgetary Institution “High Mountain Geophysical Institute”; Institute of Informatics and problems of regional management KBSC RAS, Russia;

Fedchenko L.M., FSBI “High Mountain Geophysical Institute”, Russia;

Kesheva L.A., FSBI “High Mountain Geophysical Institute”,
kesheva.lara@yandex;

Teunova N.V. FSBI “High Mountain Geophysical Institute”, Russia

Changes in Temperature Regime and Precipitation Regime of Warm and Cold Periods in Various Climatic Zones of the North Caucasus Region

Introduction.

Climate change is currently viewed by many states as one of the most important global challenges of our century and is considered a serious threat to sustainable development. This paper analyzes the changes in the temperature and precipitation regime in the North Caucasian region during the warm and cold periods for 1961–2019.

Results of the study and their discussion.

The climatic features of the territory of the North Caucasus region are determined by a number of factors, the main of which are the Caucasus Mountains, which serve as a climatic divide between the temperate and subtropical zones. In the study of climate change in the North Caucasus region, data from time series of temperatures in the surface layer of the atmosphere and atmospheric precipitation in the warm and cold seasons of the period 1961–2019 were used. The obtained time series were investigated by methods of mathematical statistics and supplemented with linear trends characterizing the trend of the value under consideration.

Research results and discussion.

Average temperatures and precipitation were calculated for the cold period, which includes October–December of the previous year and January–April of the next year, and the warm period, from May to September, for 11 weather stations located in 4 climatic zones of the region. Further, the obtained values were averaged within each climatic zone. Climatic norms (average 1961–1990) were determined for each climatic zone in warm and cold periods. In all climatic zones in the cold and warm periods, an excess of the temperature climatic norm is observed, with the exception of the high-mountain zone in the cold period. For the amount of precipitation, the warm period is characterized by a decrease in the amount of precipitation, except for the mountainous zone. In the cold season, an increase in precipitation is observed in all climatic zones. The obtained time series were investigated by the methods of mathematical statistics and supplemented with linear trends characterizing the trend of the value under consideration for the period 1961–2019. Trends were calculated by the well-known least squares method. The strength of the trend, its statistical significance, was estimated by the value D (%), the contribution of the trend to the explained variance: $D = (R^2) 100\%$. At the 5% level, the trend is statistically significant for the coefficient of determination above $R^2 = 0.065$.

Conclusions.

In all climatic zones of the North Caucasus region in the period 1961–2019. There was a statistically significant increase in average temperatures, both in cold and warm periods, with the exception of the cold period in the high mountain zone. Analysis of precipitation for the period under consideration in various climatic zones of the region showed that changes in precipitation amounts combined negative and positive statistically insignificant trends. Negative trends were mainly observed during the warm period, except for the mountainous zone, where there was a slight positive trend.

Key words:

climatic zones, North Caucasian region, warm period, cold period, average temperature, precipitation amount, linear trend.

Введение

Изменение климата в настоящее время рассматривается многими государствами как один из важнейших глобальных вызовов нашего века и считается серьезной угрозой для устойчивого развития.

Реальность изменения глобального климата подтверждается в первую очередь данными инструментальных наблюдений. По данным «Оценочного доклада об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации» (2020) [1] на территории России продолжается потепление, темпы которого намного превышают глобальное среднее по земному шару.

Средняя скорость роста среднегодовой температуры воздуха на территории России в 1976–2019 гг. составила по данным ФГБУ «ИГКЭ» $0,47^{\circ}\text{C}/10$ лет. Это более чем в два с половиной раза больше скорости роста глобальной температуры за тот же период: $0,18^{\circ}\text{C}/10$ лет, и более чем в полтора раза больше средней скорости потепления приземного воздуха над сушей земного шара: $0,28^{\circ}\text{C}/10$ лет (оценки по данным Центра Хэдли и Университета Восточной Англии). Температура каждого последующего десятилетия с 1980 г. превышала температуру предыдущего.

Для России 2019 г. также был очень теплым: четвертым среди самых теплых в ряду наблюдений с 1936 г.: средняя за год температура на $2,07^{\circ}\text{C}$ превысила норму – среднюю за 1961–1990 гг. В течение года наблюдались значительные климатические аномалии. Очень теплой была весна со средней по РФ температурой на $2,86^{\circ}\text{C}$ выше нормы: четвертая величина за время наблюдений. В июне рекордно высокие температуры отмечены на юге европейской части России (ЕЧР): в Северо-Кавказском федеральном округе ($4,26^{\circ}\text{C}$ выше нормы) и в Южном федеральном округе ($4,29^{\circ}\text{C}$ выше нормы; наряду с серьезным дефицитом осадков, всего 46% нормы) это привело к засухе в важном сельскохозяйственном регионе. Экстремально теплым был декабрь 2019 г. в ЕЧР: второй за весь период с 1936 года [1].

В данной работе проведен анализ изменений режима температуры и осадков на территории Северо-Кавказского региона.

Материалы и методы исследований

Климатические особенности территории Северо-Кавказского региона обусловлены рядом факторов, основными из которых являются Кавказские горы, служащие климаторазделом между умеренным и субтропическим поясами. По климатическим условиям Северо-Кавказский регион можно разделить на степную, предгорную, горную и высокогорную климатические зоны. Для каждой из этих территорий характерен свой температурный режим и количество осадков. В работе [2] было отмечено, что во всех климатических зонах региона изменения среднегодовых температур происходит синхронно, при этом изменения температур внутри каждой климатической зоны укладывается в свои диапазоны. Изменения режима осадков в различных климатических зонах, в отличие от изменений температурного режима, не синхронны.

Наиболее часто для анализа изменения климата используются сезонные и годовые значения климатических переменных [3–5]. Для некоторых направлений изучения климата, таких как исследования деградации ледников, влияние изменения климата на аграрный сектор, интерес представляет не сезонное деление метеорологических параметров, а деление на теплый и холодный периоды.

При исследовании изменения климата Северо-Кавказского региона были использованы данные временных рядов температур в приземном слое атмосферы и атмосферных осадков в теплый и холодный сезоны за период 1961–2019 гг. Исходные данные метеопараметров – это результат первичных измерений на метеостанциях сети Росгидромета, предоставленные Северо-Кавказским УГМС, а также данные с использованием электронного ресурса <https://rp5.ru>.

Средние температуры и количество осадков были рассчитаны за холодный период, который включает октябрь–декабрь предыдущего года и январь–апрель следующего года, и теплый период, с мая по сентябрь, для 11 метеостанций, расположенных в 4 климатических зонах региона (табл. 1). Далее было произведено осреднение полученных значений внутри каждой климатической зоны.

Полученные временные ряды были исследованы методами математической статистики и дополнены линейными трендами, характеризующими тенденцию рассматриваемой величины за период 1961–2019 гг. Тренды рассчитывались известным методом наимень-

Таблица 1.

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТЕОСТАНЦИЙ
СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА

Table 1. Physical and geographical characteristics of meteorological
stations in the North Caucasus region

№ п/п	Метеостанция	Географические координаты	Высота над уровнем моря (н.у.м.), м
Степные станции (< 200 м н.у.м.)			
1	Изобильный (Ставропольский край)	45.22° N; 32.42° E	194
2	Моздок (РСО – Алания)	43.44° N; 44.39° E	126
3	Прохладная (Кабардино-Балкария)	43.46° N; 44.05° E	198
Предгорные станции (500–1000 м н.у.м.)			
4	Ставрополь (Ставропольский край)	45.03° N; 41.58° E	540
5	Черкесск (Карачаево-Черкесия)	44.17° N; 42.04° E	526
6	Кисловодск (Ставропольский край)	43.54° N; 42.43° E	819
7	Нальчик (Кабардино-Балкария)	43.22° N; 43.24° E	500
8	Владикавказ (РСО – Алания)	43.21° N; 44.40° E	680
Горные станции (1000–2000 м н.у.м.)			
9	Теберда (Карачаево-Черкесия)	43.45° N; 41.73° E	1280
10	Ахты (Дагестан)	41.28° N; 47.44° E	1054
Высокогорная станция (> 2000 м н.у.м.)			
11	Терскол (Кабардино-Балкария)	43.15° N; 42.30° E	2144

ших квадратов. Угловой коэффициент уравнения линейного тренда выражается в градусах за десятилетие (°C/10 лет, температура) и в миллиметрах за десятилетие (мм/ 10 лет, осадки).

Оценка изменений метеопараметров проводилась регрессионным методом [6], который наиболее часто используемый для вычисления **климатических** трендов.

В уравнении линейной регрессии:

$$y = ax + b, \quad (1)$$

где a и b – коэффициенты, которые определяют конкретный вид линейного уравнения.

Метод наименьших квадратов позволяет вычислить параметры регрессии:

$$b_1 = \frac{\text{cov}(x,y)}{Dx}, \quad (2)$$

$$b_1 = \bar{y} - b_1 \bar{x}, \quad (3)$$

где $\text{cov}(x,y)$ – ковариация x и y ;
 $\bar{y}$ и $\bar{x}$ – средние значения этих переменных.

При построении линии регрессии (тренда) была использована функция ЛИНЕЙН в среде Excel. Регрессионная статистика включает в себя угловые коэффициенты (a , b) с ошибками δ , свободный член с ошибкой, коэффициент детерминации R^2 , F – критерий (статистика Фишера), t – критерий (статистика Стьюдента) для определения статистической значимости полученных коэффициентов. Для проверки гипотезы о значимости коэффициента детерминации (тренда) используется критерий Фишера (F-тест).

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - k - 1}{k}, \quad (4)$$

где R^2 – коэффициент детерминации;
 n – число наблюдений (58);
 k – число независимых параметров линейной регрессии.

В статистике величина (значение) переменной называют статистически значимой на заданном уровне значимости p , если мала вероятность случайного возникновения этой величины.

Задав уровень значимости $p = 0,05$, для степеней свободы $df = n - k - 1 = 57$ с помощью функции ФРАСПР(Excel) находится значимость (Sig.). При Sig. $< 0,05$ определяется критическое значение F -теста, при котором коэффициент детерминации R^2 статистически значим. Для оценки вероятности случайного получения наибольшего значения F также используется функция ФРАСП (Excel) с числом степеней свободы: $v_1 = 1$ и $v_2 = 57$. Сила тренда, его статистическая значимость, оценивалась величиной D (%), вкладом тренда в объясненную дисперсию: $D = (R^2) 100\%$.

На 5%-ном уровне тренд статистически значим для коэффициента детерминации выше $R^2 = 0,065$. Таким образом, для рядов длиной $n = 59$ (1961–2019 гг.) нижний порог статистической значимости тренда имеет величину $D = 6,5\%$ при числе степеней свободы $df = 57$.

Результаты и их обсуждение

Разнообразие климатических зон Северо-Кавказского региона характеризовалось значительным разбросом средних температур: в теплый период от $9,9^\circ\text{C}$ в высокогорной зоне до $20,1^\circ\text{C}$ в степной зоне и в холодный период от $-2,6$ в высокогорной зоне до $4,2^\circ\text{C}$ в степной зоне. Наибольшее количество сумм осадков наблюдалось в высокогорной зоне, наименьшее в степной зоне. В таблице 2 представлены осредненные значения температур и значения сумм осадков холодного и теплого периодов и их климатические нормы (среднее 1961–1990 гг.) в различных климатических зонах Северо-Кавказского региона за период 1961–2019 гг. Из таблицы видно, что во всех климатических зонах в холодный и в теплый период наблюдается превышение температурной климатической нормы, за исключением высокогорной зоны в холодный период, где средняя температура характеризовалась незначительным отклонением от нормы. Что касается сумм осадков, то в теплый период имело место уменьшение сумм осадков, кроме горной зоны. В холодный сезон наблюдалось увеличение сумм осадков во всех климатических зонах.

Степная и предгорная зоны Северо-Кавказского региона являются наиболее развитыми с точки зрения производства сельхозпро-

Таблица 2.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ НОРМЫ, ОСРЕДНЕННЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И СУММЫ ОСАДКОВ ЗА 1961–2019 ГГ. В СЕВЕРО-КАВКАЗСКОМ РЕГИОНЕ

Table 2. Climatic norms, average temperatures and precipitation amounts for 1961–2019 in the North Caucasus region

Климатические зоны	Степная		Предгорная		Горная		Высокогорная	
	Т, °С	Р, мм	Т, °С	Р, мм	Т, °С	Р, мм	Т, °С	Р, мм
Холодный период								
Норма (1961–1990)	3,8	230,6	2,5	244,5	2,6	281,6	–2,5	437,3
Среднее (1961–2019)	4,2	242,9	2,9	257,4	2,9	296,7	–2,6	474,0
Теплый период								
Норма (1961–1990)	19,6	289,4	17,5	420,6	15,1	294,7	9,6	498,9
Среднее (1961–2019)	20,1	282,8	18,1	417,3	15,6	298,9	9,9	494,7

Т – средняя температура, °С; Р – сумма осадков, мм

дукции, в связи с чем анализ изменения температурного режима и режима осадков в этих зонах имеет важное значение для функционирования аграрного сектора. Изменения во взаимодействии нескольких климатических переменных могут иметь более серьезное влияние, чем изменения какой-либо отдельной переменной.

На рисунке 1 представлены осредненные температуры и суммы осадков холодного (а) и теплого (б) периодов в равнинной зоне региона. Угловой коэффициент b характеризует скорость изменения метеопараметра, а силу тренда, его значимость, описывает величина вклада в суммарную дисперсию ($D, \%$). На рисунке 1а видно, что за весь исследованный период 1961–2019 гг. в степной зоне в теплый период происходило дальнейшее статистически значимое увеличение средних температур со скоростью $0,33\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ ($D = 36\%$), при этом количество осадков умеет статистически незначимую тенденцию к снижению со скоростью $-2,2\text{ мм}/10\text{ лет}$ ($D = 36\%$).

Для холодного сезона так же наблюдается повышение средней температуры со скоростью $0,29\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ при $D = 18\%$. Сумма

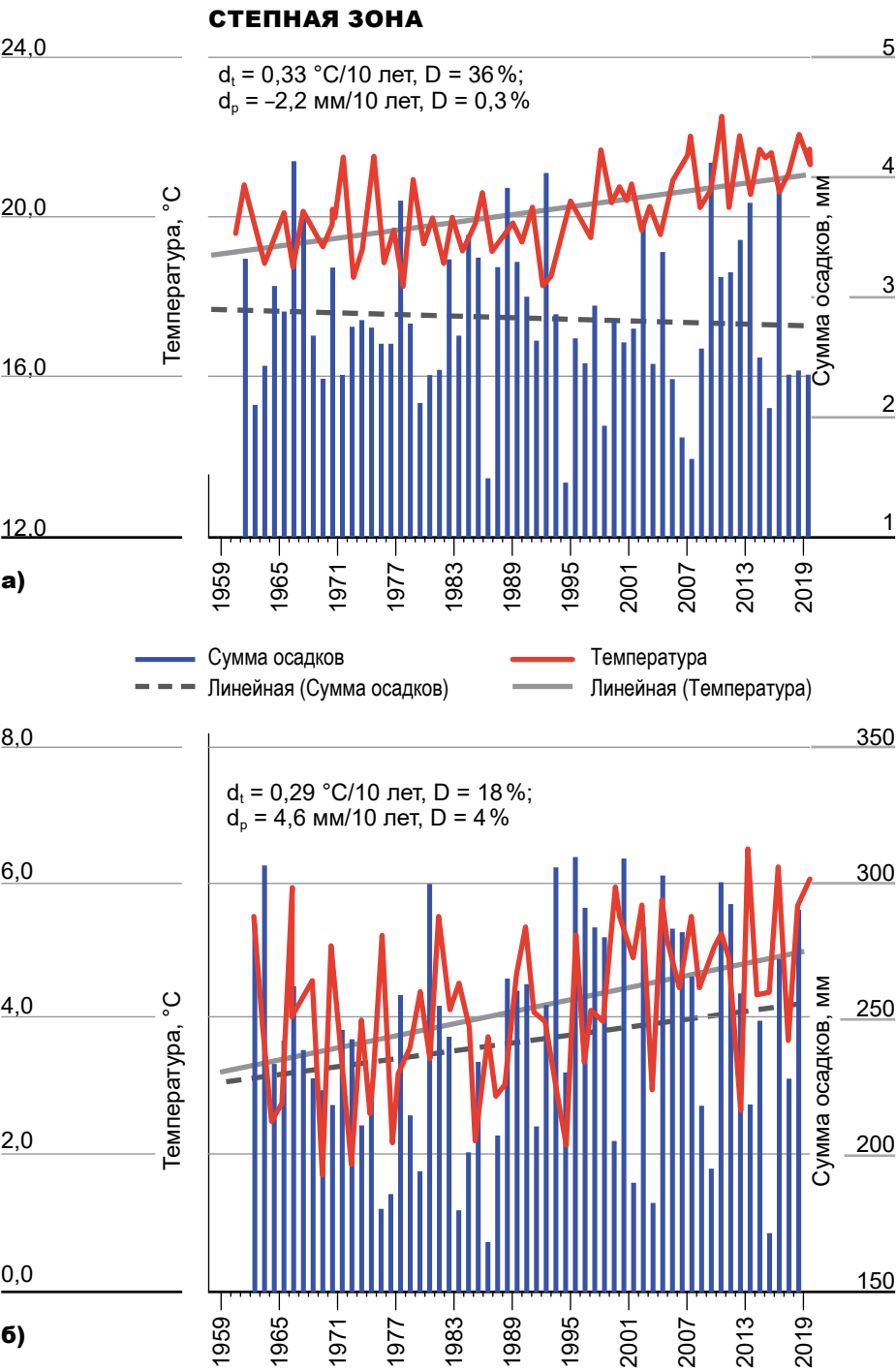


Рис. 1. Осредненные температуры и суммы осадков в степной зоне. а) теплый период; б) холодный период.
Fig. 1. Average temperatures and precipitation amounts in the steppe zone. a) warm period; b) cold period

осадков в холодный сезон имеет статистически незначимый рост (4,6 мм/10 лет, $D = 4\%$).

Для предгорной зоны (рис. 2) характерны те же тенденции, что и для степной зоны – повышение температуры (0,38 °C/10 лет, $D = 36\%$) и уменьшение суммы осадков (–3,7 мм/10 лет, $D = 0,6\%$) в теплый период. В холодный период имел статистически значимый рост средней температуры (0,27 °C/10 лет, $D = 16\%$) и незначимый рост суммы осадков (6,1 мм /10 лет, $D = 0,4\%$).

В последние годы (2017–2019 гг.) в степной и предгорной зонах региона в теплый период наблюдалось превышение нормы средней температуры на 1–3 °C, при значении суммы осадков на 50–100 мм ниже нормы.

Тенденция к повышению температуры может оказать как позитивное, так и негативное влияние на сельское хозяйство. С одной стороны, потепление климата в Северо-Кавказском регионе привело к увеличению вегетационного периода, который является важным фактором, влияющим на структуру и эффективность сельского хозяйства. В то же время, повышение температуры в теплый период в сочетании с уменьшением количества осадков может приводить к нехватке влаги в почве и засухам, что негативно сказывается на производстве сельскохозяйственной продукции. Повышение температуры воздуха в холодный период будет препятствовать формированию устойчивого снежного покрова, что может привести к повреждению или даже к гибели озимых культур.

В горной и высокогорной зонах анализ изменений средних температур и сумм осадков имеет решающее значение для оценки состояния ледников.

В горной зоне (рис. 3а,б) в период 1961–2019 гг. наблюдалось значимое увеличение средних температур в теплый сезон (0,32 °C/10 лет, $D = 44\%$), при статистически незначимом увеличении сумм осадков. Холодный сезон характеризуется статистически значимым увеличением зимних температур (0,19 °C/10 лет, $D = 9,2\%$) и незначимым увеличением сумм осадков.

На рисунке 3в видно, что в высокогорной зоне наблюдалось значимое увеличение средних температур в теплый период (0,26 °C/10 лет, $D = 36\%$) и незначительное уменьшение в холодный

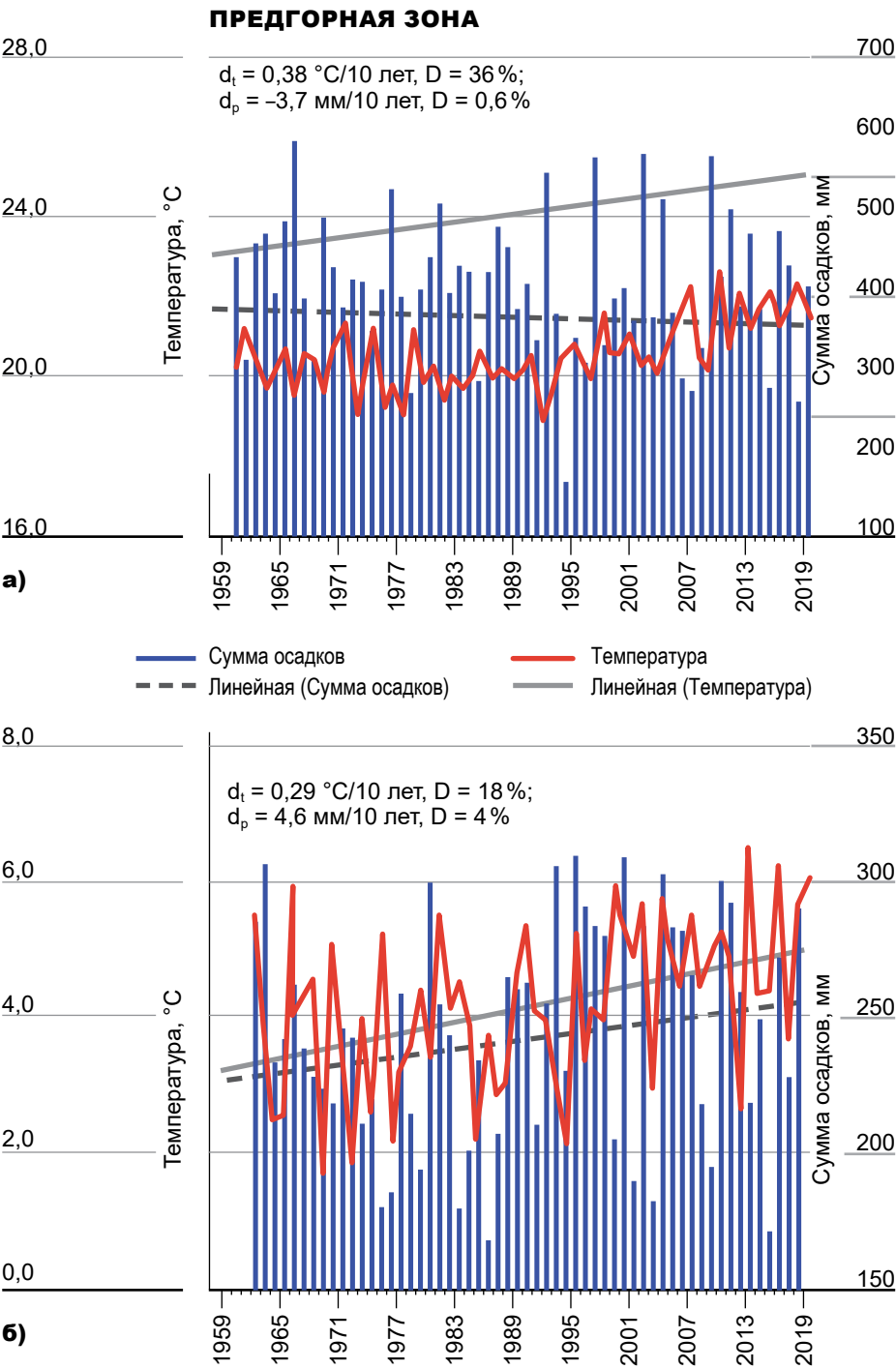
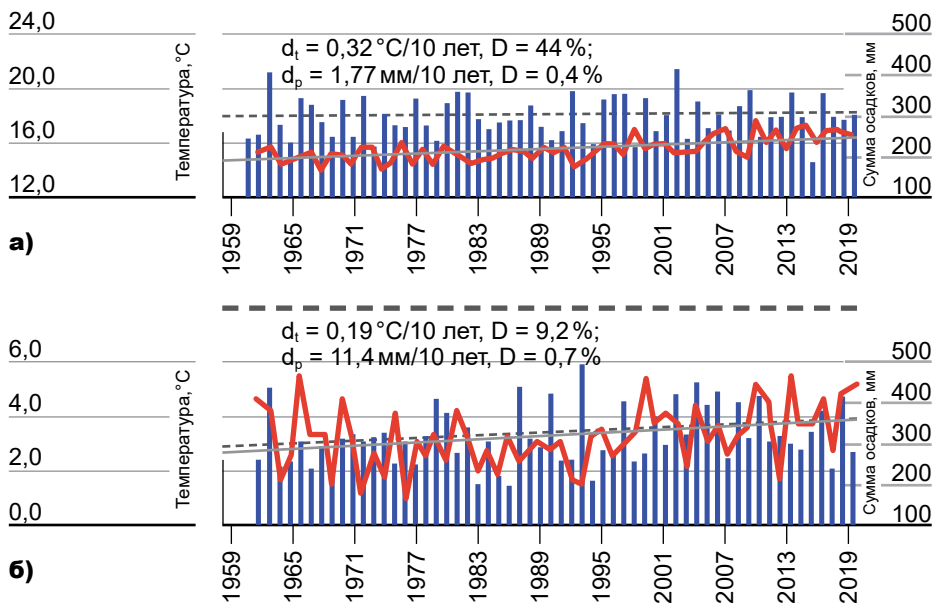


Рис. 2. Осредненные температуры и суммы осадков в предгорной зоне: а) теплый период; б) холодный период.
Fig. 2. Average temperatures and amounts of precipitation in the foothill zone: a) warm period; b) cold period.

ГОРНАЯ ЗОНА



ВЫСОКОГОРНАЯ ЗОНА

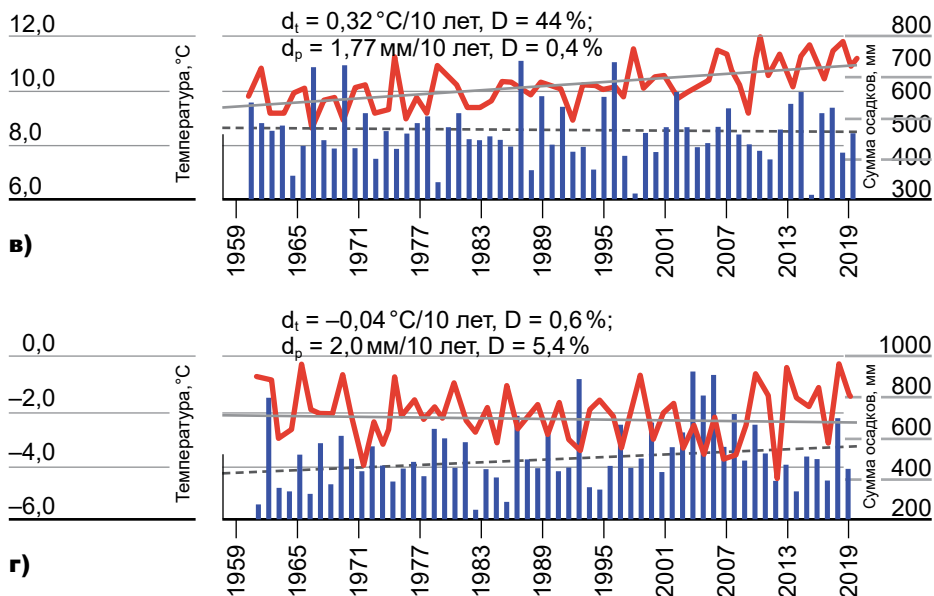


Рис. 3.

Осредненные температуры и суммы осадков в горной и высокогорной зоне: а), в) теплый период; б), г) холодный период

Fig. 3. The average temperatures and amounts of precipitation in mountain area: а), с) the warm period; б), d) cold period

период ($-0,04^{\circ}\text{C}/10$ лет, $D = 0,6\%$), при этом сумма осадков в теплый период имела тенденцию к уменьшению ($-2,8$ мм/10 лет, $D = 0,3\%$), а в холодный период имело место незначительное увеличение сумм осадков со скоростью $2,0$ мм/10 лет, со статистически незначимым трендом ($D = 5,4\%$) (рис. 3г).

Тенденции изменения климата горных районов, в частности, повышения температуры и увеличения количества атмосферных осадков будут способствовать увеличению частоты и разрушительной силы опасных склоновых процессов (селей, лавин и т.д.).

Анализ изменения летних температур воздуха в горной и высокогорной зонах, в сочетании с анализом изменения зимних осадков имеет большое значение для оценки балансового состояния ледников [7]. Твердые атмосферные осадки, выпадающие в холодный период, являются главным источником аккумуляции снега на ледниках. В высокогорной зоне после 2006 г. количество осадков холодного периода снизилось, хотя тренд остается положительным, за счет снежных зим 2004–2006 гг., когда суммы осадков достигали 850 мм/период.

В рассматриваемый период произошло сильное увеличение температур теплого периода на фоне небольшого количества осадков в холодный период, что приводит к увеличению абляции на ледниках и их быстрому освобождению от снега.

Выводы

Во всех климатических зонах в холодный и в теплый период 1961–2019 гг. наблюдалось превышение температурной климатической нормы, за исключением высокогорной зоны в холодный период, где средняя температура имела незначительное отклонение от нормы. В теплый период имело место уменьшение сумм осадков во всех зонах, за исключением горной, а в холодный сезон происходило увеличение сумм осадков во всех климатических зонах.

В период 1961–2019 гг. во всех климатических зонах региона наблюдалось статистически значимое увеличение средних температур, как в холодный, так и в теплый периоды, за исключением холодного периода в высокогорной зоне, где имела место статис-

тически незначимая тенденция к снижению средней температуры холодного периода со скоростью $-0,04\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ ($D = 0,6\%$).

Анализ сумм осадков за рассматриваемый период в различных климатических зонах региона показал, что в изменениях сумм осадков сочетались отрицательные и положительные статистически незначимые тенденции. Отрицательные тенденции преимущественно наблюдались в теплый период, кроме горной зоны, где имел место небольшой положительный тренд.

Повышение температуры в теплый период, в сочетании с уменьшением количества осадков в равнинной и предгорной зонах, может привести к нехватке влаги в почве и засухам.

Увеличение температур теплого периода на фоне небольшого количества осадков в холодный период в горной и высокогорной зонах приводит к увеличению абляции на ледниках.

Библиографический список

1. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год / Бардин М.Ю., В.И. Егоров, Николаева А.М., Платова Т.В., Ранькова Э.Я. и др. Росгидромет. Москва, 2020. 97 с.
2. Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В. Пространственная корреляция температуры и осадков в Кавказском регионе // Третья международная научная конференция с элементами научной школы «Инновационные методы и средства исследований в области физики атмосферы, гидрометеорологии, экологии и изменения климата». Ставрополь, 2018. С. 201–205.
3. Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В. Пространственно-временное изменение климата юга европейской территории России, оценка его последствий, методы и модели адаптации АПК. Монография. Нальчик: Печатный двор, 2020. 476 с.
4. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Москва, 2014. 58 с.
5. Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Платова Т.В. Оценка сезонных особенностей региональных проявлений изменения гло-

бального климата. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Москва, 2010. Т. 23. С. 11–22.

6. Статистика: учебник / И.И. Елисеева и др. Москва: Проспект, 2015. 443 с.
7. Рототаева О.В., Носенко Г.А., Керимов А.М., Кутузов С.С., Лаврентьев И.И., Никитин С.А., Керимов А.А., Тарасова Л.Н. Изменения баланса массы ледника Гарабаши (Эльбрус) на рубеже XX–XXI вв. Лёд и Снег. 2019. Т. 59. №1. С. 5–22.

References

1. Report on climate features in the Russian Federation for 2019. Bardin M.Yu., V.I. Egorov, Nikolaev A.M., Platova T.V., Rankova E.Ya. et al. Moscow, 2020. 97 p.
2. Ashabokov B.A., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Teunova N.V. Spatial correlation of temperature and precipitation in the Caucasus region. The third international scientific conference with elements of the scientific school “Innovative methods and research tools in the field of atmospheric physics, hydrometeorology, ecology and climate change.” Stavropol, 2018. P. 201–205.
3. Ashabokov B.A., Fedchenko L.M., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Teunova N.V. Expanse-temporal climate change in the south of the European territory of Russia, assessment of its consequences, methods and models of agro-industrial complex adaptation. Monograph. Nalchik: Printing House, 2020. 476 p.
4. Second Assessment Report on Climate Changes and Their Consequences on the Territory of the Russian Federation. General summary. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet). Moscow, 2014. 58 p.
5. Gruza G.V., Rankova E.Ya., Platova T.V. Assessment of seasonal features of regional manifestations of global climate change. Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems. Moscow, 2010. Т. 23. P. 11–22.
6. Statistics: textbook / I.I. Eliseeva and others. Moscow: Prospect, 2015. 443 p.
7. Rototaeva O.V., Nosenko G.A., Kerimov A.M., Kutuzov S.S., Lavrentyev I.I., Nikitin S.A., Kerimov A.A., Tarasova L.N. Changes in the mass balance of the Garabashi glacier (Elbrus) at the turn of the XX–XXI centuries. Ice and Snow. 2019. Vol. 59, No. 1. P. 5–22.

Поступило в редакцию 11.06.2021,
принята к публикации 31.08.2021

Сведения об авторах

- Ашабоков** Борис Азреталиевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом физики облаков Федерального государственного бюджетного учреждения «Высокогорный геофизический институт», адрес: Россия, Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2; заведующий отделом математических методов исследования сложных систем и процессов ФГБУН «Институт информатики и проблем регионального управления КБНЦ РАН».
Scopus ID: 6505916110. Researcher ID: K-4299-2015, Телефон (928) 707-29-52. E-mail: ashabokov.boris@mail.ru
- Федченко** Людмила Михайловна, доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Высокогорный геофизический институт». Адрес: Россия, Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2.
- Кешева** Лара Асировна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Высокогорный геофизический институт». Адрес: Россия, Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2,
Scopus ID: 57191577471, Researcher ID: K-4261-2015, Телефон (903) 490-47-75, E-mail: kesheva.lara@yandex.ru
- Теунова** Наталия Вячеславовна, и.о. старшего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения «Высокогорный геофизический институт». Адрес: Россия, Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2.
Scopus ID: 57191571952. Researcher ID: K-4312-2015. Телефон (903) 492-99-64. E-mail: nata0770@yandex.ru

About the authors

- Ashabokov** Boris Azretaliyevich, doctor of physical and mathematical sciences, professor, head of department of physics of clouds of Federal state budgetary institution "High-Mountain Geophysical Institute", head of department of mathematical methods of a research of difficult systems and processes of FGBUN

“ Institute of Computer Science and Problems of Regional Management, Kabardino-Balkaria Research Center, Russian Academy of Sciences”. Address: Russia, Kabardino-Balkar Republic, Nalchik, Lenin Ave., 2. Scopus ID: 6505916110 Researcher ID: K-4299-2015, Phone: (928) 707-29-52, E-mail: ashabokov.boris@mail.ru

Fedchenko Lyudmila Mikhailovna, Doctor of Geography, Professor, Chief Researcher of the Federal state budgetary institution “High-Mountain Geophysical Institute”. Address: Russia, Kabardino-Balkar Republic, Nalchik, Lenin Ave., 2.

Kesheva Lara Asirovna, candidate of physical and mathematical sciences, senior research associate of department of physics of clouds of Federal state budgetary institution “High-Mountain Geophysical Institute”. Address: Russia, Kabardino-Balkar Republic, Nalchik, Lenin Ave., 2.
Scopus ID: 57191577471. Researcher ID: K-4261-2015, Phone: (903) 490-47-75.
E-mail: kesheva.lara@yandex.ru

Teunova Nanaliya Vyacheslavovna, acting senior researcher associate of department of physics of clouds of Federal state budgetary institution “High-Mountain Geophysical Institute”. Address: Russia, Kabardino-Balkar Republic, Nalchik, Lenin Ave., 2. Scopus ID: 57191571952, Researcher ID: K-4312-2015, Phone: (903) 492-99-64, E-mail: nata0770@yandex.ru

25.00.30
УДК 551.583

МЕТЕОРОЛОГИЯ, КЛИМАТОЛОГИЯ, АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ
(ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Ташилова А.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Высокогорный геофизический институт», Россия; *tashilovaa@mail.ru

ИЗМЕНЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОСАДКОВ В ОТВЕТ НА ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ

DOI: 10.37493/2308-4758.2021.3.5

Введение.

Изменение осадков в ответ на потепление происходит более неравномерно, чем ранее, и происходит это в основном во время событий, которые считаются экстремальными. В отличие от температуры, где изменение климата можно рассматривать как простой сдвиг распределения, форма распределения осадков меняется с потеплением, так что ливневые дожди составляют большую долю общего количества осадков.

Материалы и методы исследований. Результаты данной работы основаны на анализе данных осадков и температуры двадцати метеорологических станций, расположенных на юге европейской части России, в период с 1961 по 2018 г., и предоставленные Северо-Кавказским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Для проведения исследований режима осадков использовалась «базовая триада» осадков: сумма осадков (P), суточный максимум осадков ($P_{\max}$) и число дней с осадками не менее 20 мм (NR20) и средние температуры (T). Для исследования были рассчитаны регрессионные статистики сезонных и годовых рядов сумм осадков, суточных максимумов, числа дней с осадками не менее 20 мм и средних температур. Линейные тренды, характеризующие тенденцию рассматриваемой величины за весь период наблюдений с 1961 по 2018 г. были построены с помощью функции рабочего листа Excel ЛИНЕЙН, которая возвращает значения угловых коэффициентов, погрешности их вычисления, коэффициент детерминации модели R^2 (D, %), F-тест Фишера для определения значимости коэффициента детерминации R^2 .

Результаты исследований и их обсуждение. На всей территории юга России в 1961–2018 гг., за исключением отрицательного тренда летних сумм осадков, наблюдалось увеличение сезонных и годовых сумм осадков, суточных максимумов осадков и NR20, в основном, статистически незначимое. Во всех климатических зонах юга России, за исключением высокогорной, имело место статистически значимое увеличение средних годовых температур. В высокогорной зоне рост годовой температуры статистически незначим (Терскол, $a = 0,08$ °C/10 лет, $D = 4$ %). В динамике сезонных средних температур, в том числе в высокогорной зоне, наблюдалась общая закономерность – наибольшая скорость роста температур в летний сезон с максимальным вкладом объясненной дисперсии. Несмотря на одинаковую положительную направленность трендов как среднегодовой температуры, так и осадков на юге ЕТР, коэффициенты корреляции пар рядов «температура-сумма осадков», «температура-максимум осадков», «температура-NR20» статистически незначимы на 5 %-ном уровне. На фоне значимого роста аномалий среднегодовой температуры аномалии сумм осадков и числа дней с интенсивными осадками увеличиваются, но статистически незначимы. Вклад тренда в объясненную дисперсию наибольший для суточных максимумов осадков, $D = 5,2\%$, что наиболее близко к статистически значимому $D = 6,5$ %. При превышении климатической нормы среднегодовой температуры на 1 °C аномалия суточных максимумов осадков растет на $\approx 159\%$ от аномалий суточных максимумов осадков при климатической норме температуры ($\Delta T = 0$ °C), в отличие от роста аномалий сумм осадков на 3 %.

Выводы.

Выявленные тенденции характеризуют изменение режима осадков – количество осадков, выпавших за месяц, значительно не увеличивается, но если раньше это были равномерные дожди, то теперь короткие, ливневые. В более теплом климате значительно больше влаги содержится в атмосфере из-за почти постоянной высокой относительной влажности, что приводит к усилению опасных конвективных явлений. Таким образом, можно прогнозировать, что количество осадков не изменится, но экстремальных осадков станет больше.

Ключевые слова:

суммы осадков, суточные максимумы, число дней с осадками не менее 20 мм, средние температуры, водность, корреляция, регрессия, критерий Фишера, юг России.

Tashilova A.A.

Federal State Budgetary Institution "Vysokogorny Geophysical Institute", Russia
* tashilovaa@mail.ru

Changes in Regional Precipitation Distribution in Response to Global Warming

Introduction.

Precipitation changes in response to warming are more uneven than before, and this occurs mainly during events that are considered extreme. Unlike temperature, where climate change can be viewed as a simple shift in distribution, the shape of the distribution of precipitation changes with warming, so that rain showers account for a large proportion of total precipitation.

Materials and methods of research. The results of this work are based on the analysis of precipitation and temperature data from twenty meteorological stations located in the south of the European part of Russia, in the period from 1961 to 2018, and provided by the North Caucasus Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring. To study the precipitation regime, the "basic triad" of precipitation was used: the total precipitation (P), the daily maximum precipitation ($P_{\max}$), the number of days with precipitation of at least 20 mm ($NR20$) and average temperatures (T). For the study, regression statistics of seasonal and annual series of precipitation sums, daily maximums and the number of days with precipitation of at least 20 mm, and average temperatures were calculated. Linear trends characterizing the trend of the value under consideration for the entire observation period from 1961 to 2018 were constructed using the built-in Excel LINEST worksheet function, which returns the values of the slope coefficients, the errors in their calculation, the coefficient of determination of the model R^2 (D , %), F -Fisher's test to determine the significance of the coefficient of determination R^2 .

Results of the study and their discussion. Throughout the south of the EPR in 1961–2018, with the exception of the negative trend of summer precipitation amounts, there was an increase in seasonal and annual precipitation amounts, daily maximum precipitation and $NR20$, mainly statistically insignificant. In all climatic zones of southern Russia, there was a statistically significant increase in average annual temperatures. In the alpine zone, the increase in annual temperature is statistically insignificant (Terskol, $a = 0.08$ °C/10 years, $D = 4$ %). In the dynamics of seasonal average temperatures, including in the high-altitude zone, a general pattern was observed – the highest rate of temperature growth in the summer season with the maximum contribution of the explained variance. Despite the same positive trend of both the mean annual temperature and precipitation in the south of the EPR, the correlation coefficients of the pairs of the series "temperature – precipitation sum", "temperature – maximum precipitation", "temperature – $NR20$ " are statistically insignificant at the 5 % level. Against the background of a significant increase in average annual temperature anomalies, the amount of precipitation and the number of days with intense precipitation increase, but statistically insignificantly. The contribution of the trend to the explained variance is greatest for daily maximum precipitation, $D = 5.2$ %, which is closest to the statistically significant $D = 6.5$ %. When the average annual temperature exceeds the climatic norm by 1 °C, the anomaly of daily maximum precipitation increases by ≈ 159 % of the anomalies of daily maximum precipitation at the climatic norm of temperature ($\Delta T = 0$ °C), in contrast to the increase in the anomalies of precipitation amounts by 3 %.

Conclusions.

The revealed tendencies characterize the change in the precipitation regime – the amount of precipitation that fell per month does not increase significantly, but if earlier it was uniform rains, now it is short, torrential. In warmer climates, significantly more moisture is contained in the atmosphere due to the almost constant high relative humidity, which leads to an increase in dangerous convective phenomena. Thus, it can be predicted that the amount of precipitation will not change, but there will be more extreme precipitation.

Key words:

precipitation amounts, daily maximums, number of days with precipitation of at least 20 mm, average temperatures, water content, correlation, regression, Fisher's criterion, southern Russia.

Введение

О возможном изменении режима осадков в современном мире в Докладе Международной группы экспертов по изменению климата (2013) [1] говорится, что «...частота обильных осадков или доля общих дождевых осадков в обильных осадках увеличится в XXI веке над многими районами земного шара, ...ежегодный максимальный объем суточных осадков, выпадающих один раз в 20 лет, вероятно, станет явлением, которое будет наблюдаться раз в 5 лет – раз в 15 лет к концу XXI века во многих регионах». В ответ на глобальное потепление ожидается, что среднее количество осадков в мире будет незначительно увеличиваться (на $\sim 2\%/K$), в то время как экстремальные осадки будут увеличиваться быстрее (на $\sim 6\%/K$ или более, в зависимости от определения экстремума [2–4].

В работе [5] отмечается, что в связи с изменением климата характер тенденций выпадения осадков носит все более асимметричный вид. Половина годовых осадков выпадает в самые влажные 12 дней каждый год в среднем по всем наблюдательным станциям по всему миру. Модели климата проектируют изменения в осадках, которые будут еще более неравномерны, чем современные осадки на фоне глобального потепления. В разные годы и в разных регионах это событие не приходится на одну конкретную дату, однако тенденция прослеживается очень четко.

Основными инструментами, которые используются для проектирования продолжительности и интенсивности изменения климата, являются глобальные климатические модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) [2]. В рамках международного проекта CMIP5 представлены сценарии RCP (*Representative Concentration Pathway*, репрезентативная траектория концентрации) будущих оценок выбросов парниковых газов (ПГ) и других радиационно-активных веществ, которые вносят основной вклад в современное изменение климата. Сценарии получили стандартизованные обозначения RCP_i (i – приращение глобального радиационного баланса, $Вт/м^2$): $RCP_{8.5}$, сценарий $RCP_{6.0}$, $RCP_{4.5}$ и $RCP_{2.6}$.

Эти сценарии предполагают различные климатические перспективы на основе прогнозов выбросов ПГ и, следовательно, связанное с ними приращение глобального радиационного баланса ($Вт/м^2$) к 2100 году.

Наиболее мягкий сценарий RCP_{2.6} предполагает лишь небольшое увеличение эмиссии ПГ, ожидается, что повышение температуры будет оставаться ниже порога 2°C при увеличении радиационного баланса на 2,6 Вт/м². В самом жестком сценарии RCP_{8.5} предполагается, что увеличение радиационного баланса на 8,5 Вт/м² соответствует повышению температуры от 3,5 до 4,5–5 °C. Для двух других промежуточных сценариев, RCP_{4.5} и RCP_{6.0} ожидается, что превышение будущих температур будет варьировать в пределах 2–4,0 °C.

В сценарии с высокими выбросами парниковых газов (RCP_{8.5}) одна пятая (20%) прогнозируемого увеличения количества осадков выпадает в самые влажные 2 дня в году и 70% в самые влажные 2 недели [5].

Материалы и методы исследований

Как известно, осадки выпадают неравномерно во времени: наряду с днями без осадков имеются дни с небольшими дождями, и с проливными ливнями. Поэтому можно рассматривать два аспекта изменения количества осадков – это средние значения и их экстремальные значения. В данной работе продолжен анализ изменений атмосферных осадков и температур на юге ЕТР, начатый в предыдущих исследованиях [6, 7]. Результаты данной работы основаны на анализе данных осадков и температуры двадцати метеорологических станций, расположенных на юге европейской части России, в период с 1961 по 2018 г., и предоставленные Северо-Кавказским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Для проведения исследований режима осадков использовалась «базовая триада» осадков: сумма осадков (P), суточный максимум осадков ($P_{\max}$) и число дней с осадками не менее 20 мм ($NR20$) и средние температуры (T). Характеристики изменения метеопараметров за 1961–2018 гг., полученные в результате регрессионного анализа (значения углового коэффициента линейного тренда a (мм/месяц/год, далее по тексту мм/год, °C/год), характеризуют среднюю скорость локальных изменений атмосферных осадков и температур на исследуемых м/станциях юга России в течение 1961–2018 гг. и были подтверждены критериями устойчивости и статистической значимости (коэффициент детерминации R^2 , критерий Фишера). Аномалии определялись как отклонения наблюда-

емого значения метеопараметра от климатической нормы. Под климатической нормой понимается среднее многолетнее значение рассматриваемой климатической переменной за базовый период 1961–1990 гг. по рекомендации ВМО [8].

Долю дисперсии, обусловленную регрессией, в общей дисперсии показателя предиктора характеризует коэффициент детерминации R^2 : Статистика R^2 обеспечивает альтернативную меру соответствия и принимает форму пропорции – объясненной доли дисперсии, поэтому всегда принимает значение от 0 до 1:

$$R^2 = 1 - \frac{RSS}{TSS}, \quad (1)$$

где $RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ – остаточная сумма квадратов отклонений, обусловленная регрессией;

$TSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ – общая сумма квадратов отклонений.

С помощью критерия Фишера оценивают качество регрессионной модели в целом и по параметрам. С учетом формулы (1) для R^2 имеем:

$$F = 1 - \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - k - 1}{k}, \quad (2)$$

где R^2 – коэффициент детерминации,

n – число наблюдений,

k – число независимых параметров линейной регрессии, число степеней свободы $d_f = n - k - 1$.

Величина F -статистики для отвержения/подтверждения нулевой гипотезы H_0 зависит от значений n и k . Для этого выполняется сравнение фактического значения $F_{\text{факт}}$ и табличного значения $F_{\text{теор}}$. Фактическое значение критерия Фишера ($F_{\text{факт.}}$) рассчитывается как отношение дисперсии регрессии к дисперсии остатков, рассчитанных на одну степень свободы по формуле (2). Теоретическое значение критерия Фишера ($F_{\text{теор}}$) определяется из таблицы при заданном уровне значимости p и числе степеней свободы d_f .

Если фактическое значение критерия Фишера выше теоретического ($F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$), то построенное регрессионное уравнение значимо и может выступать в качестве модели прогноза. Если выборочные статистики F -распределения регрессий сезонных и годовых температур превосходят табличное значение $F_{\text{теор.}} = 4,39$ ($d_f = 56$), следовательно, регрессия является значимой. Тренд статистически значим для коэффициента детерминации выше $R^2 = 0,065$ ($D = 6,5\%$ для $n = 58$ ($d_f = 58 - 2 = 56$)).

Результаты и обсуждение

Для исследования были рассчитаны регрессионные статистики сезонных и годовых рядов сумм осадков, суточных максимумов и числа дней с осадками не менее 20 мм на юге России, используя функцию ЛИНЕЙН(Excel) [9]. Из результатов регрессионного анализа следует, что во всех климатических зонах имело место, как увеличение (70%), в основном в степной зоне, так и уменьшение (30%) сезонных и годовых сумм осадков. В большинстве случаев тенденции статистически незначимые (значимость F -теста на 5%-ном уровне $\alpha > 0,05$). В летний сезон ни на одной станции не был определен значимый рост суммы осадков, при этом уменьшение сумм осадков имело место в летний сезон для большинства м/станций.

Для сезонных и годовых суточных максимумов осадков было выявлено как увеличение (75%), так и уменьшение (25%) осадков, в основном статистически незначимое. Значимый рост суточных максимумов осадков на 5%-ном уровне имел место на отдельных м/станциях степной зоны. Незначимое уменьшение суточных максимумов осадков наблюдалось во всех климатических зонах, наиболее заметное – в летний сезон. Ряды с числом дней с осадками более 20 мм имели тенденцию к увеличению, в основном статистически незначимому.

Характеристики изменения режима осадков на юге ЕТР за 1961–2018 гг., полученные в результате регрессионного анализа (значения углового коэффициента линейного тренда a , коэффициента детерминации (R^2), критерия Фишера (F -теста на 5%-ном уровне) сезонных сумм осадков, суточных максимумов осадков, числа дней с осадками не менее 20 мм, представлены в таблице 1. Коэффициенты линейного тренда характеризуют среднюю скорость ло-

Таблица 1. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ РЯДОВ ИЗМЕНЕНИЯ ОСАДКОВ НА ЮГЕ ЕТР, 1961–2018 ГГ.
Table 1. Statistical characteristics of linear regression of the series of changes in precipitation in the south of the ETR, 1961–2018

Y=ax+b	зима		весна		лето		осень	
	a* (R2)	F-тест/ a **	a (R2)	F-тест/ a	a (R2)	F-тест/ a	a (R2)	F-тест/ a
Сумма осадков, a, мм/месс/год	0,14 (0,01)	0,65/ 0,42	0,27 (0,03)	1,53/ 0,22	– 0,3 (0,01)	0,48/ 0,49	0,56 (0,07)	4,10/ 0,048
Суточный максимум, a, мм/месс/год	0,02 (0,01)	0,51/ 0,48	0,03 (0,01)	0,53/ 0,47	0,05 (0,02)	1,31/ 0,26	0,10 (0,08)	4,65/ 0,04
NR20, a, дней/год	0,00 (0,00)	0,01/ 0,92	0,01 (0,04)	2,57/ 0,11	0,00 (0,01)	0,46/ 0,50	0,02 (0,074)	20,87/ 0,00

* отрицательные тренды выделены серой заливкой;
** тренды статистически значимые на 95%-ном уровне ($R^2 \geq 0,065$ при $\alpha < 0,05$) выделены жирным.

кальных изменений атмосферных осадков на юге России в течение 1961–2018 гг. (a = мм/месяц/год), критерии F -теста определяют значимость тенденций изменения режима осадков (тренды статистически значимы при $a < 0,05$).

Из таблицы 1 видно, что статистически значимо на 5 %-ном уровне увеличивались суммы осадков (0,56 мм/год), суточные максимумы осадков (0,10 мм/год), а также число дней с осадками NR20 (0,02 дня/год) в осенний сезон (значимость F -критерия составила $\alpha = 0,048$; 0,04; 0,00) (основной вклад внесли осадки степных станций).

Таким образом, на всей территории юга ЕТР, за исключением отрицательного тренда летних сумм осадков, наблюдалось увеличение сезонных и годовых сумм осадков, суточных максимумов осадков и NR20, в основном, статистически незначимое. Статистически значимые на 5 %-ном уровне положительные тренды за 1961–2018 гг. имели место для сумм осадков, суточных максимумов осадков и числа дней с осадками не менее 20 мм в осенний сезон (за счет степных станций).

Таблица 2. СКОРОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ СЕЗОННОЙ И ГОДОВОЙ СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ ЮГА ЕТР, 1961–2018 ГГ.
Table 2. The rate of change in the seasonal and annual average temperature in different climatic zones of the south of the EPR, 1961–2018

Сезоны	При- черно- морье	Степная	При- каспий- ская	Пред- горная	Горная	Высоко- горная
Год, $a(D, \%)^*$	0,16(11,8%)	0,28(25,7%)	0,23(21%)	0,31(30%)	0,24(23%)	0,08(4%)
Зима	0,03(0,1%)	0,32(8,8%)	0,14(4,5%)	0,30(9,2%)	0,19(3%)	–0,05(0,3%)**
Весна	0,11(4%)	0,22(11%)	0,23(17%)	0,27(14%)	0,20(9,7%)	0,07(1,5%)
Лето	0,35(32,5%)	0,41(31,3%)	0,33(28%)	0,45(34%)	0,38(40%)	0,32(35,6%)
Осень	0,14(5,5%)	0,19(7,1%)	0,20(8,6%)	0,24(12%)	0,16(6,1%)	–0,01(0%)

a — угловой коэффициент линейной регрессии, °C/10 лет;
 D — вклад тренда в объясненную дисперсию, %.
* — статистически значимые тренды выделены жирным ($D > 6,5 \%$ при $a < 0,05$);
** — отрицательные тренды выделены серой заливкой.

Результаты регрессионного анализа тенденций изменений температурного режима воздуха показали, что большинство сезонных и годовых трендов температур всех климатических зон юга ЕТР имеют положительную направленность (табл. 2).

Из данных таблицы 2 можно сделать вывод, что на отрезке времени 1961–2018 гг.:

1. Имело место статистически значимое увеличение средних годовых температур во всех климатических зонах юга России (за исключением высокогорной, Терскол) от 0,24 °C/10 лет ($D = 23 \%$) в горной до 0,31 °C/10 лет ($D = 30 \%$) в предгорной зонах. В причерноморской зоне скорость изменения годовой температуры составила 0,16 °C/10лет ($D = 11,8 \%$) – это наименьшая скорость роста среднегодовой температуры из статистически значимых. В высокогорной зоне рост годовой температуры статистически незначим и составил $\alpha = 0,08$ °C/10 лет ($D = 4 \%$).

2. Во всех климатических зонах в динамике *сезонных* средних температур наблюдалась общая закономерность – наибольшая скорость роста температур в *летний* сезон с максимальным вкладом объясненной дисперсии (от 0,32 °C/10 лет (35,6%) в высокогорной зоне до 0,45 °C/10 лет (34%) в предгорной зоне).

Таким образом, за последние десятилетия на юге ЕТР наблюдался статистически значимый рост годовой и сезонной температуры и увеличение осадков, значимое лишь в *осенний* сезон (при минимальном значении уровня значимости $\alpha = 0,05$), при этом следует отметить, что в современный период (с середины 90-х годов прошлого века), количество экстремумов температур выше порогового значения значительно увеличилось в летний и осенний сезоны [10].

Далее для исследования зависимости изменений аномалий осадков (отклонения от среднего за 1961–1990 гг.) от аномалий температуры на юге России на первом этапе были построены совместные графики аномалий среднегодовой температуры и аномалий годовых осадков (сумм осадков, суточных максимумов и числа дней с осадками более 20 мм (рис. 1 а-в).

Уравнение линейного тренда аномалий *среднегодовой температуры* имеет вид:

$$Y(\Delta T) = 0,024x - 0,342, \quad D = 24,6\%, \quad (3)$$

где $y(\Delta T)$ – аномалии среднегодовой температуры;
 x – номер года с 1961 по 2018 г.

Вклад тренда в объясненную дисперсию составил $D = 24,6\%$ ($d_f = 56$), что характеризует увеличение аномалий среднегодовых температур за 1961–2018 гг. на юге ЕТР как статистически значимый.

Уравнение линейного тренда аномалий сумм осадков:

$$Y(\Delta P) = 0,658x - 5,51, \quad D = 2,4\%, \quad (4)$$

где $Y(\Delta P)$ – аномалии сумм осадков;
 x – годы.

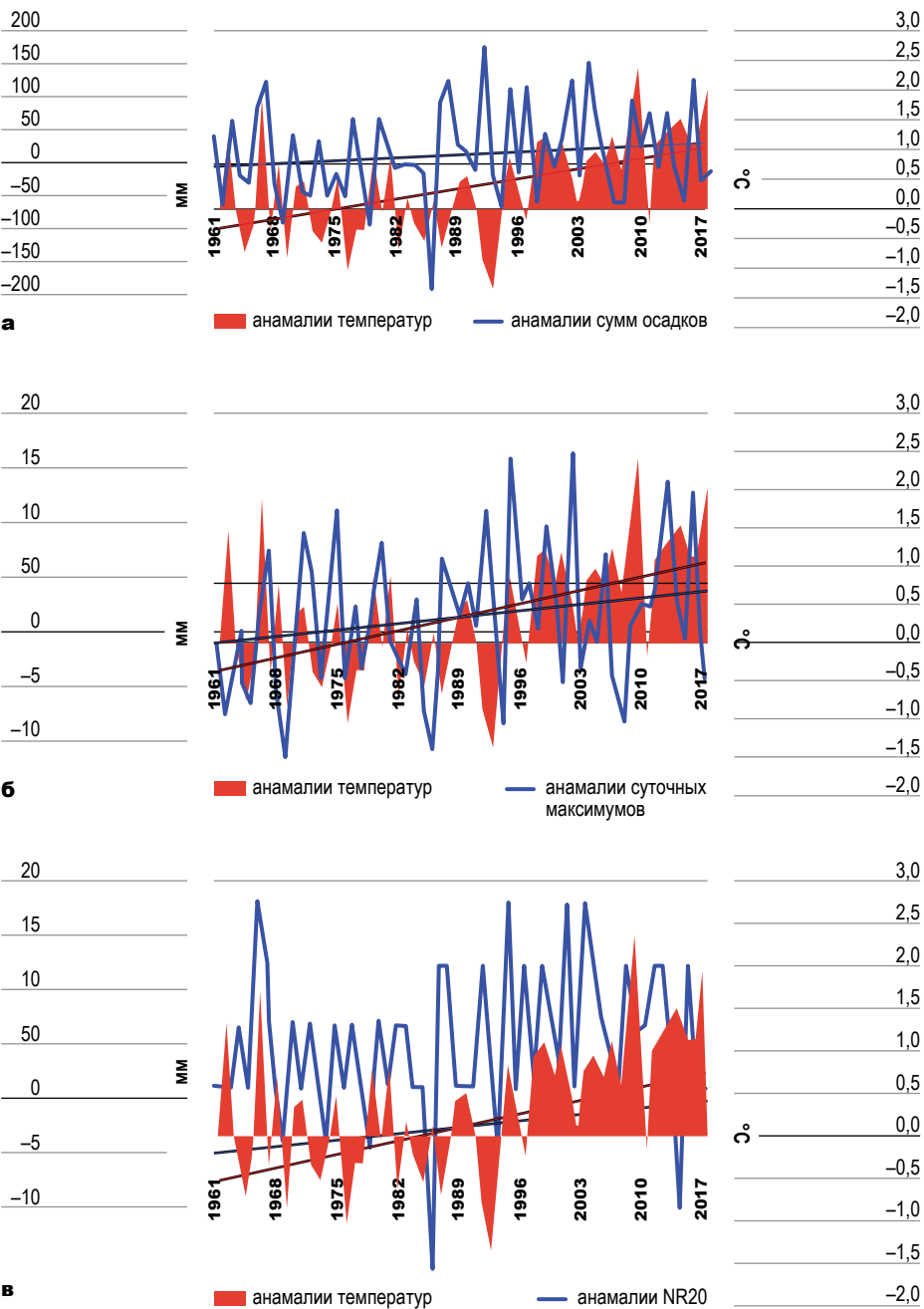


Рис. 1. Аномалии средней годовой температуры и годовых:
а) сумм осадков; б) суточных максимумов осадков; в) числа дней с осадками не менее 20 мм (NR20) на юге России в 1961–2018 гг.

Fig. 1 – Anomalies of the average annual temperature and annual:
a) the amount of precipitation; b) daily maximum precipitation; c) the number of days with precipitation of at least 20 mm (NR20) in the southern Russia in 1961–2018.

Уравнение линейного тренда аномалий суточных максимумов осадков:

$$Y(\Delta P_{\max}) = 0,086x - 1,11, \quad D = 5,2\%, \quad (5)$$

где $Y(\Delta P_{\max})$ – аномалии суточных максимумов осадков;
 x – годы.

Уравнение линейного тренда аномалий NR20:

$$Y(\Delta NR20) = 0,012x - 0,13, \quad D = 3,1\%, \quad (6)$$

где $Y(\Delta NR20)$ – аномалии числа дней с осадками более 20 мм;
 x – годы.

Вклад тренда в объясненную дисперсию для аномалий «триады осадков» составил $D = 2,4\%(\Delta P)$, $D = 5,2\%(\Delta P_{\max})$ и $D = 3,1\%(\Delta NR20)$. При минимальном значении статистической значимости тренда $D = 6,5\%$ ($d_f = 56$), все изменения аномалий осадков могут быть определены как статистически незначимые.

Исследуя статистическую зависимость между значениями аномалий температуры и аномалиями «триады осадков», рассчитаем коэффициенты корреляции:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n\sigma_x\sigma_y}, \quad (7)$$

где $\bar{x}$ и $\bar{y}$ – средние значения переменных x_i и y_i соответственно;
 σ_x и σ_y – стандартные отклонения переменных x и y ;
 n – количество наблюдений.

Для того, чтобы полученные коэффициенты корреляции были статистически значимыми на 5%-ном уровне необходимо, чтобы значимость F -критерия была меньше допустимой ошибки ($\alpha < 0,05$). Из проведенного корреляционного анализа следует, что несмотря на одинаковую положительную направленность трендов как среднегодовой температуры, так и осадков

на юге России, коэффициенты корреляции статистически незначимы на 5 %-ном уровне, поскольку превышают уровень допустимой ошибки $p = 0,05$: для пары «средняя температура-сумма осадков» $r = 0,09$ ($\alpha = 0,13$), для пары «средняя температура-суточные максимумы осадков» $r = 0,21$ ($\alpha = 0,09$), для пары «средняя температура – NR20» $r = 0,13$ ($\alpha = 0,10$).

Исследуем зависимость аномалий годовых осадков ($\Delta P, \Delta P_{\max}, \Delta NR20$) от аномалий средней годовой температуры (ΔT):

$$Y_{(\Delta P, \Delta P_{\max}, \Delta NR20)} = bx_{(\Delta T)} + b_0, \quad (8)$$

где $Y_{(\Delta P, \Delta P_{\max}, \Delta NR20)}$ – аномалии годовых сумм осадков, суточных максимумов осадков, числа дней с осадками не менее 20 мм;

$x_{(\Delta T)}$ – аномалии средних годовых температур,

b и b_0 – угловой коэффициент и свободный член уравнения линейной регрессии.

В регрессионной модели зависимости аномалий осадков ($Y_{(\Delta P)}, Y_{(\Delta P_{\max})}, Y_{(\Delta NR20)}$) от аномалий температуры $x_{(\Delta T)}$ приведены уравнения:

$$Y_{(\Delta P)} = 0,407x_{(\Delta T)} + 13,768, \quad D = 0\%, \quad (9)$$

$$Y_{(\Delta P_{\max})} = 1,426x_{(\Delta T)} + 0,895, \quad D = 3,4\%, \quad (10)$$

$$Y_{(\Delta NR20)} = 0,193x_{(\Delta T)} + 0,183, \quad D = 1,7\%, \quad (11)$$

При аномалии температуры равной нулю, $x_{(\Delta T)} = 0^\circ\text{C}$, имеем типичные условия со средней температурой, равной климатической норме. Тогда свободный член b_0 в уравнении (9) становится равным величине осадков при климатической норме (для сумм осадков $b_0 = 13,768$ мм, для суточных максимумов осадков $b_0 = 0,895$ мм, для NR20 $b_0 = 0,183$ дня).

Из уравнений (9) – (11) видно, что все коэффициенты «базовой триады» осадков положительные, следовательно, при росте температуры осадки также будут увеличиваться. При этом для суммы

осадков эта величина наименее значительна ($D = 0\%$): из уравнения (9) имеем, что при росте аномалии среднегодовой температуры на $x_{(\Delta T)} = +1\text{ }^{\circ}\text{C}$ аномалия суммы осадков увеличится на $Y_{(\Delta P)} = +0,407\text{ мм}$ в году, то есть рост составит $\approx 3\%$ от аномалий сумм осадков ($\Delta P = 13,768\text{ мм}$) при климатической норме температуры $x_{(\Delta T)} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Далее из уравнения (10) при росте среднегодовой аномалии температуры на $x_{(\Delta T)} = +1\text{ }^{\circ}\text{C}$ аномалия *суточных максимумов осадков* составит $Y_{(\Delta P_{\max})} = 1,426\text{ мм}$ за год или увеличит рост на $\approx 159\%$ от аномалий *суточных максимумов осадков* ($0,895\text{ мм}$) при климатической норме температуры $x_{(\Delta T)} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Рост положительной аномалии температуры на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводит к росту аномалий суточных максимумов в 1,6 раза относительно климатической нормы $x_{(\Delta T)} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При росте среднегодовой аномалии температуры на $x_{(\Delta T)} = +1\text{ }^{\circ}\text{C}$ аномалия *NR20* (уравнение [11]) составит $Y_{(\Delta NR20)} = 0,193\text{ дня}$ за год или рост на $\approx 105\%$ от аномалий *NR20* ($0,183\text{ дня}$) при климатической норме температуры.

Таким образом, на фоне значимого роста аномалий среднегодовой температуры аномалии *сумма осадков и число дней с интенсивными осадками* увеличиваются, но статистически *незначимы*. Тренд аномалий *суточных максимумов осадков* положительный, вклад тренда в объясненную дисперсию составил $D = 5,2\%$, что наиболее близко к статистически значимому $D = 6,5\%$. Выявленные тенденции характеризуют изменение режима осадков – количество осадков, выпавших за месяц, значительно не увеличивается, но если раньше это были равномерные дожди, то теперь короткие, ливневые.

Нелинейная зависимость увеличения интенсивности осадков от роста температуры вытекает из физической сущности двухфазной среды (пар–вода) [11]. Чем выше температура, тем больше пара может содержаться в воздухе. Характеризуя содержание воды в атмосфере, используются понятия абсолютной влажности p_a (г/кг). Относительная влажность измеряется числом, показывающим, сколько процентов составляет абсолютная влажность p_a (г/кг) от давления водяного пара p_n , насыщающего воздух при имеющейся у него температуре:

$$B = (p_a / p_n) \times 100\% \quad (12)$$

Эти понятия приводят к различающимся по времени процессам конденсации в зависимости от температуры воздуха. Чем выше температура, тем больше пара может содержаться в воздухе. Возможны ситуации, когда холодный и очень теплый воздух имеют совершенно одинаковую абсолютную влажность, но для теплого воздуха это будет низкая относительная влажность, а для холодного – высокая относительная влажность. Следовательно, высока вероятность выпадения осадков в холодном воздухе, а в теплом – отсутствие осадков.

Для фиксированного состояния климата, такого как настоящее, распределение осадков неравномерно, главным образом из-за нелинейной связи между температурой и осадками и описывается уравнением Клапейрона–Клаузиуса, характеризующим изменение давления насыщения E (наибольшее значение давления водяного пара, возможное при данной температуре) от температуры T [11]:

$$\frac{dE}{dT} = \frac{L_{1,2}}{T(v_1 - v_2)}, \quad (13)$$

где $L_{1,2}$ – удельная теплота перехода из состояния 1 в состояние 2;

v_1, v_2 – удельные объемы вещества в состояниях 1 и 2.

При определённой температуре воздуха в нем может максимально содержаться только определенное количество влаги, что характеризуется относительной влажностью по формуле (12). Относительная влажность определяется не только абсолютной влажностью, но и температурой воздуха. С увеличением температуры это максимально возможное количество влаги увеличивается, с уменьшением температуры воздуха максимальное возможное количество влаги уменьшается.

Поэтому, если понизить температуру воздуха, а количество влаги в нём останется прежним, то часть ее «выльется». Так что, с одной стороны, если температура будет расти, атмосфера гипотетически сможет удерживать больше влаги. С другой стороны, чем выше температура, тем больше воды испаряется в атмосферу.

В реальной атмосфере это приводит к тому, что при понижении температуры насыщенного воздуха на одно и то же значение

(например, на 1 °C) при высоких температурах (на фоне глобального потепления) конденсируется водяного пара больше, чем при низких температурах. Таким образом, в более теплом климате значительно больше влаги содержится в атмосфере из-за почти постоянной высокой относительной влажности, что приводит к усилению опасных конвективных явлений (ливни, град).

Выводы

Выявленные тенденции характеризуют тенденцию изменения режима осадков – дожди становятся не обложными, а ливневыми. Количество осадков, выпавших за месяц, значительно не увеличивается, но если раньше это были равномерные дожди, то теперь они короткие, ливневые. По результатам исследования можно отметить, что на фоне устойчивого роста температуры на юге России никакого устойчивого тренда осадков не обнаруживается, хотя можно отметить, что «...если наложить аномалии температур на аномалии количества осадков, то преимущественно холодные столетия, такие, как XIX в., оказываются сухими, а теплые, такие, как XX в. – более влажными» [12].

Таким образом, можно прогнозировать, что количество осадков не изменится, но экстремальных осадков станет больше. Соответственно почва, с её гранулометрической структурой, может оказаться неспособна пропустить эту влагу сквозь себя так быстро в таком объеме; тогда надо рассматривать выход рек из берегов, возможности наводнений. В современном мире требуется время на адаптацию к изменению климата. Сильные дожди, которые стали происходить чаще, требуют обратить внимание на городское техническое оснащение, упреждающее затопление (ливневые канализации, стоки), которые рассчитаны на другие климатические нормы.

Библиографический список

1. МГЭИК. 2012 г.: Резюме для политиков Специального доклада по управлению рисками экстремальных явлений и бедствий для содействия адаптации к изменению климата. К.Б. Филд, В. Баррос, Т.Ф. Стокер и др. (ред.). Спец. Доклад Рабочих I и II Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Кембридж. Нью-Йорк. США. 19 с.

2. Collins M., Knutti R., Arblaster J. M., Dufresne J.-L., Fichefet T., Friedlingstein P., et al. (2013). Long-term climate change: Projections, commitments and irreversibility. In T.F. Stocker, et al. (Eds.), *Climate change. 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1029–1136). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. URL: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.024>
3. Матвеева Т.А., Гущина Д.Ю., Золина О.Г. Крупномасштабные индикаторы экстремальных осадков в прибрежных природно-экономических зонах европейской территории России // *Метеорология и гидрология*. 2015. Т. 11. С. 20–32.
4. Pendergrass, A.G. What precipitation is extreme? // *Science*. 2018. 360(6393), 1072–1073. <https://doi.org/10.1126/science.aat1871>
5. Pendergrass A.G., Knutti R. The uneven nature of daily precipitation and its change // *Geophysical Research Letters*. 2018. Vol. 45. No 21. P. 11980–11988. URL: <https://doi.org/10.1029/>
6. Ashabokov B.A., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Taubekova Z.A. Trends in Precipitation Parameters in the Climate Zones of Southern Russia (1961–2011) // *Russian Meteorology and Hydrology*, 2017. Vol. 42, No. 3. P. 150–158.
7. Ташилова А.А. Results of regression analysis of seasonal precipitation in southern Russia over the past 60 years // *Proceedings of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”*. Part 2. (October 28, 2020. Beijing, PRC), pp. 229–238.
8. www.ccl-16.wmo.int
9. Карлберг Конрад. Регрессионный анализ в Microsoft Excel: пер. с англ. / Под ред. А. Г. Гузиковича. СПб.: Диалектика, 2019. 400 с.
10. Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В., Таубекова З.А. Климатические изменения средних значений и экстремумов приповерхностной температуры воздуха на юге европейской территории России // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2017. № 1. С. 5–19.
11. Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии: физика атмосферы: учеб. пособие для ун-тов и гидромет. вузов. Ленинград: Гидрометеорологическое издательство. 1965. 876 с.
12. Клименко В.В. Климат: непрочитанная глава истории. Москва : Издательский дом МЭИ. 2009. 408 с.

References

1. IPCC. 2012: A Summary for Policymakers of the Special Report on Extreme Event and Disaster Risk Management to Promote Climate Change Adaptation. C.B. Field, V. Barros, T.F. Stocker et al. (Ed.). Specialist. Report of Working I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge. New York. USA. 19 p.
2. Collins M., Knutti R., Arblaster J. M., Dufresne J.-L., Fichefet T., Friedlingstein P., et al. (2013). Long-term climate change: Projections, commitments and irreversibility. In T.F. Stocker, et al. (Eds.), Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 1029–1136). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. URL: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.024>.
3. Matveeva T.A., Gushchina D.Yu., Zolina O.G. Large-scale indicators of extreme precipitation in coastal natural and economic zones of the European territory of Russia // Meteorology and Hydrology. 2015. Vol. 11. P. 20–32.
4. Pendergrass, A.G. What precipitation is extreme? // Science. 2018. 360(6393), 1072–1073. <https://doi.org/10.1126/science.aat1871>.
5. Pendergrass A.G., R. Knutti The uneven nature of daily precipitation and its change. Geophysical Research Letters. 2018. Vol. 45. No21. P. 11980–11988. URL: <https://doi.org/10.1029/>.
6. Ashabokov B.A. Trends in Precipitation Parameters in the Climate Zones of Southern Russia (1961–2011) / B.A. Ashabokov, A.A. Tashilova, L.A. Kesheva, Z.A. Taubekova // Russian Meteorology and Hydrology. 2017. Vol. 42. No 3. P. 150–158.
7. Tashilova A.A. Results of regression analysis of seasonal precipitation in southern Russia over the past 60 years // Proceedings of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. Part 2. 2020. Beijing. PRC. P. 229–238.
8. www.ccl-16.wmo.int.
9. Karlberg Konrad. Regression analysis in Microsoft Excel/ K. Karlberg; Ed. A.G. Guzikovich. SPb.: Dialectic, 2019. 400 p.
10. Ashabokov B.A., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Teunova N.V., Taubekova Z.A. Climatic changes in mean values and extrema of near-surface air temperature in the south of the European

territory of Russia // Fundamental and Applied Climatology. 2017. No 1. P. 5–19.

11. Matveev L.T. Fundamentals of General Meteorology: Atmospheric Physics: Textbook. manual for high school and hydromet. universities. Leningrad: Hydrometeorological Publishing House. 1965. 876 p.
12. Klimenko V. V. Climate: an unread chapter of history: Moscow: MPEI Publishing House. 2009. 408 p.

**Поступило в редакцию 03.06.2021,
принята к публикации 30.08.2021.**

Об авторе

Ташилова Алла Амарбиевна, кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории микрофизики облаков Федерального государственного бюджетного учреждения «Высокогорный геофизический институт». Адрес: Россия, Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2. Scopus ID: 57191577384, Researcher ID: K-4321-2015, Телефон (928) 692-46-29, E-mail: tashilovaa@mail.ru

About the author

Tashilova Alla Amarbiyevna, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, senior research associate of department of physics of clouds of Federal state budgetary institution "High-Mountain Geophysical Institute", Address: Russia, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Lenin Ave., 2. Scopus ID: 57191577384 Researcher ID: K-4321-2015, Phone: (928) 692-46-29, E-mail: tashilovaa@mail.ru

25.00.30
УДК 551.594

МЕТЕОРОЛОГИЯ, КЛИМАТОЛОГИЯ, АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ
(ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Аджиева А.А.,

ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова», г. Нальчик, Россия;
Aida-adzhieva@mail.ru

Черкесов А.А.

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик, Россия; cherkesov2018@yandex.ru

**КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА
И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ
В АТМОСФЕРЕ**

DOI: 10.37493/2308-4758.2021.3.6

Введение.

В статье рассматриваются вопросы воздействия космической погоды на интенсивность грозových разрядов «облако-земля» и количество опасных метеорологических явлений в год на Северном Кавказе. Приведены признаки воздействия солнечного ветра на рассматриваемые погодные явления.

Материалы и методы исследования.

Использованы результаты исследования грозовой активности, данные о количестве опасных метеорологических явлений на Северном Кавказе, значения скорости солнечного ветра и плотности протонов. Методами корреляционного и спектрального анализа рядов наблюдений грозových разрядов на землю и среднегодовых значений опасных метеорологических явлений на Северном Кавказе выявлено наличие фактов воздействия космической погоды на указанные явления.

Результаты исследований и их обсуждения.

Обоснована связь погодных явлений (на примере грозовой активности и количества опасных явлений в год на территории Северного Кавказа) с факторами солнечной активности (скорости солнечного ветра и плотности протонов в околоземном пространстве). В качестве подтверждений выполненных авторами исследований приведены некоторые аргументы «космической климатологии» Хенрика Свенсмарка (Svensmark, H).

Выводы.

Рассматриваются результаты длительных синхронных наблюдений за суточной грозовой активностью, характеристиками космической погоды и опасными метеорологическими явлениями с большим временным разрешением (сутки, года). С помощью корреляционного и спектрального анализов рядов наблюдений исследуются взаимосвязи между величинами и высказываются гипотезы о возможных механизмах их взаимодействия. Приводится осредненный суточный ход рассматриваемых характеристик.

Ключевые слова:

атмосферное электричество, космическая погода, гроззовая активность, опасные метеорологические явления.

Adzhieva A.A., Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, Nalchik, Russia
Cherkesov A.A. High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russia

Space Weather and Climate Phenomena in the Atmosphere

Introduction. The article discusses the impact of space weather on the intensity of cloud-earth thunderstorms and the number of dangerous meteorological phenomena per year in the North Caucasus. The signs of the influence of the solar wind on the considered weather phenomena are given.

Materials and methods of research. The results of the study of thunderstorm activity, data on the number of dangerous meteorological phenomena in the North Caucasus, the values of the solar wind speed and proton density were used. The correlation and spectral analysis of the series of observations of thunderstorms on the earth and the average annual values of dangerous meteorological phenomena in the North Caucasus revealed the presence of facts of the impact of space weather on these phenomena.

Results and discussion. The connection of weather phenomena (on the example of thunderstorm activity and the number of dangerous phenomena per year in the North Caucasus) with factors of solar activity (solar wind speed and proton density in near-Earth space) is substantiated. Some arguments of Henrik Svensmark's "space climatology" (Svensmark, H) are presented as confirmations of the studies carried out by the authors.

Conclusions. The results of long-term synchronous observations of daily thunderstorm activity, space weather characteristics and dangerous meteorological phenomena with a large time resolution (days, years) are considered. Using correlation and spectral analysis of the series of observations, the relationships between the values are investigated and hypotheses are made about possible mechanisms of their interaction. The average daily course of the considered characteristics is given.

Key words: atmospheric electricity, space weather, thunderstorm activity, dangerous meteorological phenomena.

Введение

Одной из ключевых проблем, которая стоит перед учеными в области метеорологии, заключается в определении особенностей воздействия космических факторов на климат Земли. Данной проблеме посвящено большое количество исследований, выполненных зарубежными исследователями. Первые результаты связаны с данными об облачном покрове Земли, полученных со спутников, в сравнении с подсчетами галактических космических лучей на наземных станциях [1]. Этим выводом впервые представлена выявленная новая связь между астрономией и климатом на Земле. Авторами показано, что увеличение интенсивности космических лучей приводит к росту площади покрытия земной поверхности облаками. Облака оказывают (не всегда) сильный охлаждающий эффект, и количе-

ство космических лучей меняется в зависимости от силы солнечного магнитного поля, которое отталкивает большую часть притока релятивистских частиц из галактики. Действие этих двух факторов, обусловленное солнечной энергией, формирует изменение климата, гораздо мощнее, чем изменения солнечной освещённости.

За последние 10 лет достигнуты большие успехи в исследованиях воздействия галактических и солнечных факторов на климат на Земле. Данное направление исследований по предложению датчанина Хенрика Свенсмарка (Svensmark, Н.) получило название космическая климатология [2-4]. В работе [3] им представлены экспериментальные доказательства предложенной методологии, из которых следует, что имеет место высокая корреляция между потоком космических лучей на Землю и образованием облаков. Основное возражение к предложенной Хенриком Свенсмарком методологии исходило от метеорологов. По их мнению наблюдения и теория не смогли удовлетворительно объяснить происхождение аэрозольных частиц, без которых водяной пар не может конденсироваться, образуя облака. Рабочая гипотеза о том, что образованию этих ядер конденсации облаков может способствовать ионизация воздуха космическими лучами, была доказана экспериментальным путем микрофизическими исследованиями.

В этой связи в 1998 году Джаспер Киркби из лаборатории физики элементарных частиц ЦЕРНа в Женеве предложил эксперимент под названием «CLOUD» («ОБЛАКО») для изучения возможной роли космических лучей в химии атмосферы [5]. Идея состояла в том, чтобы использовать пучок ускоренных частиц для имитации космических лучей и поиска аэрозолей, образующихся в экспериментальной облачной камере, содержащей воздух и другие газы. Температура и давление регулировались для имитации условий на разных уровнях атмосферы. Киркби собрал консорциум из 50 специалистов по проблемам атмосферы, солнечно-земным связям и физике элементарных частиц из 17 институтов. От России в эксперименте участвовали представители физико-технологического института им. Иоффе, г. Санкт-Петербург. Результатами эксперимента «CLOUD» показано, что скорость образования аэрозолей в камере пропорциональна интенсивности ионизации. По данным эксперимента «CLOUD» подготовлена коллективная монография [6].

Выдвинута гипотеза, что большая доля потепления в мире в 20 веке была вызвана уменьшением интенсивности космических лучей и слабой облачностью. Но различие между совпадением и причинно-следственными действиями всегда было проблемой в климатологии. Аргументы в пользу антропогенного изменения климата в течение 20-го века основываются главным образом на том факте, что концентрации углекислого газа и других парниковых газов возросли, а также повысились глобальные температуры. Попытки показать, что некоторые детали в климатических изменениях подтверждают парниковое воздействие (например, Митчелл и др., 2001) были менее чем убедительными [7]. Напротив, гипотеза о том, что изменения облачности обусловлены космическими лучами и способствуют изменению климата, предопределяет хороший аргумент, который на самом деле очень легко наблюдать, как исключение, подтверждающее правило. Вершины облаков имеют высокое альбедо и оказывают охлаждающее действие, рассеивая обратно в космос большую часть солнечного света, который в противном случае мог бы согреть поверхность Земли.

Эксперименты «CLOUD» подтвердили, что космические лучи могут создавать центры конденсации для воды, причём основную роль играют отрицательные ионы. В работе [8] приводится механизм того, как именно отрицательные ионы формируют кластер и центр конденсации водяного пара.

Указанные процессы изменяют не только климат на земле, но и оказывают существенное влияние на электрическое состояние атмосферы.

Основными характеристиками, определяющими электрическое состояние атмосферы, являются: грозы; напряженность электрического поля E (измеряемая в В/м); нередко вместо этой величины используют градиент потенциала $\text{grad } \phi$ ($\text{grad } \phi$ потенциал электрического поля в атмосфере, размерность которого совпадает с E , но отличается знаком); плотность электрического заряда ρ (Кл/м³); плотность электрического тока j (А/м²); потенциал электрического поля атмосферы.

В работе [9] авторами настоящей работы выявлено наличие корреляционной взаимосвязи между характеристиками солнечного ветра и значениями напряженности электрического поля в чистой атмосфере на высокогорной станции, что подтверждает теоре-

тические представления об атмосферном электричестве как механизме солнечно-земных связей. В данной работе выполнен анализ корреляционной взаимосвязи между характеристикой солнечного ветра – плотностью протонов солнечного ветра, грозовой активностью и количеством опасных метеорологических явлений погоды.

Материалы и методы исследования

Для выявления роли космической погоды в суточной и сезонной динамике грозовой активности и количества опасных метеорологических явлений погоды привлекались показатели: плотности протонов солнечного ветра, которые отражают всплески активности Солнца и унаследовано формируют свойства солнечного ветра, воздействующего на Землю [10]. Последствия действия солнечно-земных связей могут оказывать заметное, а иногда и основное влияние на динамику суточных и сезонных вариаций поля приземной атмосферы. Указанные изменения активности Солнца приводят к резким изменениям скорости солнечного ветра и плотности протонов солнечного ветра (рис. 1).

Как видно из рисунка 1, скорость частиц солнечного ветра варьируется от 400 км/с до 500 км/с. Амплитуда изменений скорости солнечного ветра (V) в течение года составляет 25%, а амплитуда изменений концентрации (n) заряженных частиц солнечного ветра составляет более 70%. Такие изменения, очевидно, будут формировать состояние ионосферы и тропосферы.

Для определения среднестатистических значений для территории Северного Кавказа количество грозových разрядов в день использовалась грозопеленгационная сеть LS8000 фирмы «Vaisala», Финляндия [11]. Грозопеленгационная сеть (ГПС) впервые в России была развернута на Северном Кавказе в 2008 г. Высокоточным геофизическим институтом [11]. ГПС LS8000 является разно-отно-дальномерной системой типа LPATS (Lightning Positioning and Tracking System), которая определяет координаты местоположения молнии по результатам анализа времени прихода электромагнитного сигнала от разряда молнии на разнесенные антенны (датчики). Грозопеленгационная сеть, установленная на Северном Кавказе, включает в себя шесть грозопеленгаторов – датчиков и центральный пункт приема, обработки и архивирования информации.

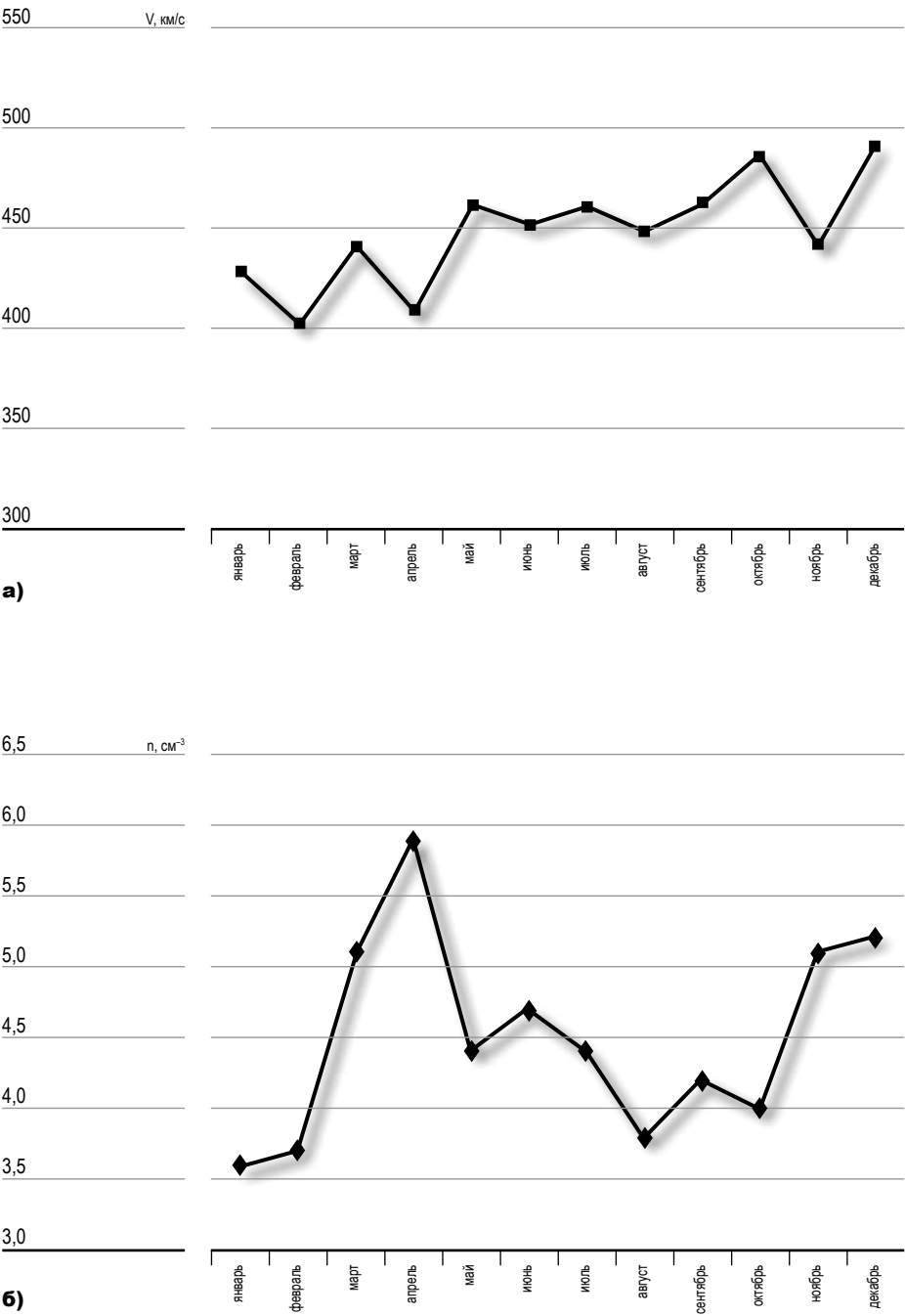


Рис. 1. Среднемесячные значения скорости солнечного ветра (а) и концентрации протонов солнечного ветра (б) за 2016 г.
Fig. 1 The average monthly values of the solar wind speed (a) and the proton density of the solar wind (b) for 2016.

Разнесенные на расстояния (70–100) км датчики ГПС имеют по две антенны для приема электромагнитного излучения молниевых разряда – в низкочастотном (LF – low frequency) и высокочастотном (VHF – very high frequency) диапазонах длин волн.

Принимаемое датчиками ГПС электромагнитное излучение молнии передается по спутниковому каналу связи в центральный сервер, где после обработки с помощью программного обеспечения формируется следующая информация о каждом молниевом разряде:

- Дата и время. Разница времени прихода электромагнитного излучения молнии датчиками (грозопеленгаторами) ГПС определяет с точностью до 100 наносекунд.
- Координаты места разряда (широту, долготу) в системе геодезических координат (WGS-84).
- Максимальное значение тока в канале разряда молнии «облако-земля», в кА.
- Классификация молний по видам: разряды «облако-земля» или разряды «внутриоблачные» и «облачные».
- Классификация (разделение) разрядов молний «облако-земля» на положительные и отрицательные. ГПС LS8000 определяет полярность молнии «облако-земля» по знаку нейтрализуемого заряда. Если нейтрализуется отрицательный заряд, то молния отрицательная, если нейтрализуется положительный заряд – молния положительная. Для облачных и межоблачных молний LS8000 не определяет знак (полярность) нейтрализуемого заряда.
- Время роста тока молнии «облако-земля» до пикового значения, в мкс.
- Время спада сигнала от пикового значения до нуля, в мкс.
- Максимальное значение скорости увеличения сигнала (крутизна тока молнии), в кА/мкс.

Использованная в работе система грозопеленгации вышеуказанную информацию о молниях принимает со всей терри-

тории Северного Кавказа, архивирует ее и передает информацию потребителям.

Для определения среднегодовых значений опасных метеорологических явлений (ОМЯ) на Северном Кавказе использованы данные с сайта: www.meteo.ru/data.

Согласно [12] в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», начиная с 1997 года, ведется и ежемесячно пополняется база данных «Сведения об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, которые нанесли материальный и социальный ущерб на территории России».

Для формирования базы привлекаются несколько источников:

- Данные об опасных гидрометеорологических явлениях, произошедших на территории конкретного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС) Росгидромета, которые поступают во ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» в виде текстовых ежемесячных сообщений.
- Штормовые сообщения, которые передаются по каналам связи в соответствии с Руководящим документом Росгидромета, который устанавливает порядок подготовки и формы передачи информации от наблюдательных подразделений о возникновении и развитии опасных природных гидрометеорологических явлений и неблагоприятных гидрометеорологических явлений.
- Данные об опасных природных явлениях, поступающие из МЧС России и других официальных открытых источников.

В базе данных собраны сведения о метеорологических, гидрологических и агрометеорологических опасных явлениях, нанесших ущерб экономике и населению.

Результаты исследований

Для анализа корреляционной взаимосвязи между характеристикой солнечного ветра – плотностью протонов солнечного ветра и количеством опасных метеорологических явлений по-

годы по данным [12] были отобраны за период с 1998 по 2018 годы среднегодовое число опасных метеорологических явлений на территории Северного Кавказа (рис. 2(А)).

Опасные метеорологические явления, на территории Северного Кавказа, отобраны в соответствии с РД 52.04.563-2002 (Инструкция. Критерии опасных гидрометеорологических явлений и порядок подачи штормового сообщения).

В целом при рассмотрении 20-летнего периода (с 1998 по 2018 г.) четкой взаимосвязи между плотностью протонов солнечного ветра и количеством ОМЯ не прослеживается. Однако если рассмотреть период с 2003 по 2016 г., то мы наблюдаем хорошую корреляционную связь между этими параметрами, равную 0,66 (рис. 2 (Б)). Вертикальными отрезками показан разброс данных. Статистическая значимость (sig.; от англ. statistical signification) равна 0,01, что говорит о высоком уровне значимости.

В данной работе также рассмотрена плотность протонов солнечного ветра (n) как один из возможных факторов воздействия на грозное электричество (рис. 3). Проведен корреляционный и регрессионный анализ их взаимосвязей. Пространственное глобальное распределение грозовой активности исследуется на основе данных инструментальных измерений с помощью грозорегистратора LS8000. Для анализа были выбраны разряды типа облако-земля (LF – low frequency). Количество грозовых разрядов было отобрано в пределах географических координат $43\text{--}45^\circ$ с.ш. и $43\text{--}45^\circ$ в.д. за июль месяц 2016 г.

Выполненный корреляционный анализ между числом грозовых разрядов «облако-земля» в день и плотностью протонов солнечного ветра показал наличие хорошей взаимосвязи между исследуемыми параметрами (рис. 3). Коэффициент корреляции составил 0,64. Статистическая значимость равна $0,0001 < 0,01$ на 1%-м уровне ошибки, что говорит о высоком уровне значимости. Уравнение регрессии: $y = 0,0049x + 5,1872$. Коэффициент детерминации равен $R^2 = 0,4037$ или $D = 40,4\%$. Статистическая значимость sig(F-теста) равна $0,0001 < 0,01$ на 1%-ом уровне ошибки.

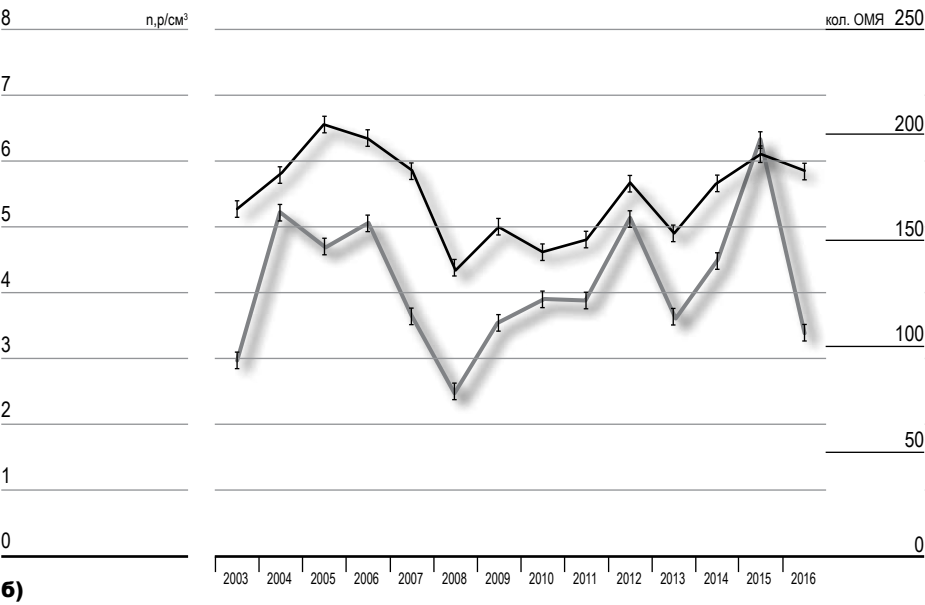
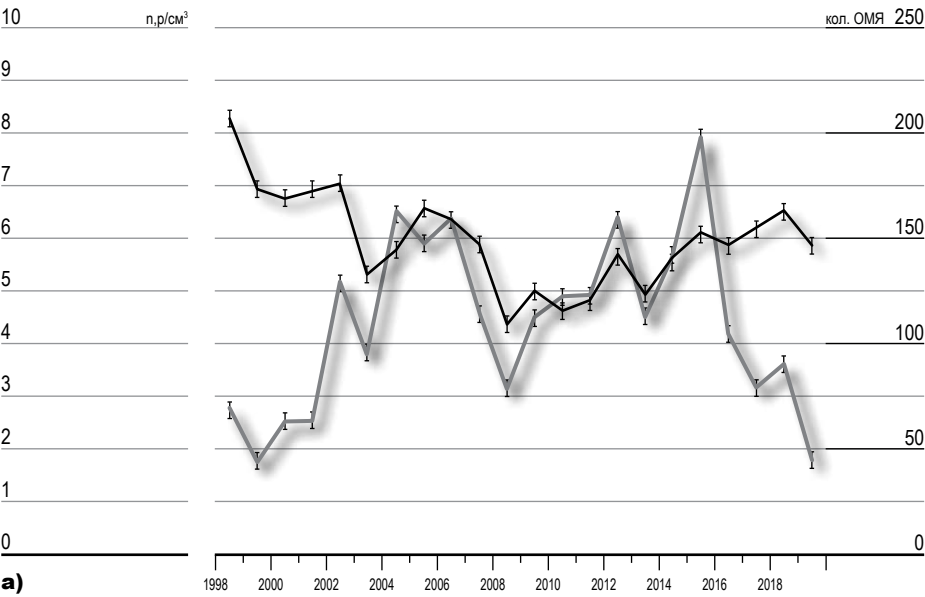


Рис. 2. Среднегодовое распределение ОМЯ (на территории Северо-Кавказского региона) и концентрации протонов солнечного ветра.

Fig. 2. The average annual distribution of dangerous meteorological phenomena (DMP) (in the territory of the North Caucasus region) and the proton density of the solar wind.

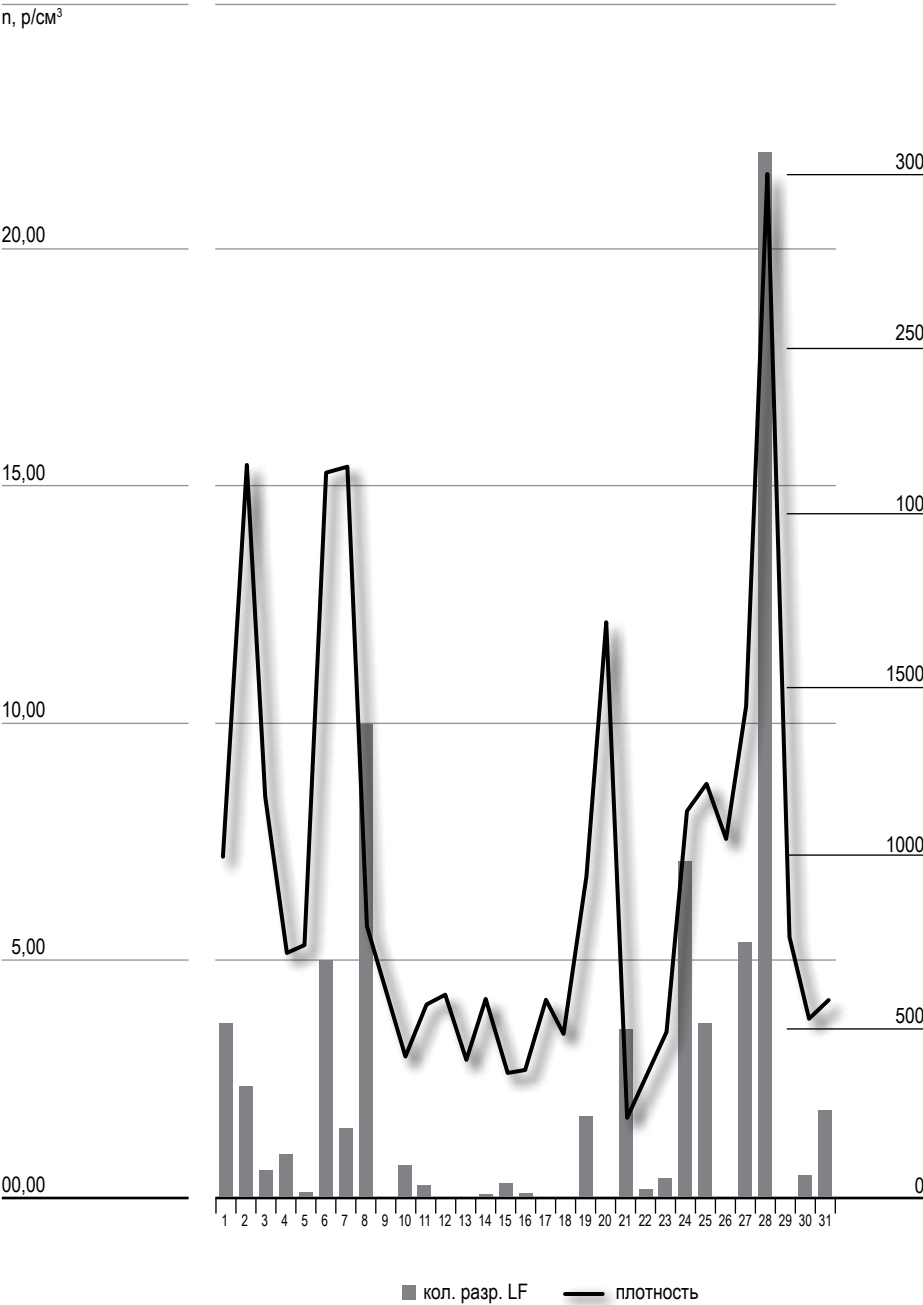


Рис. 3. Зависимость количества грозовых разрядов облако-земля (в пределах географических координат 42–45°) и концентрации протонов солнечного ветра за июль 2016 г.
Fig. 3 Dependence of the number of lightning discharges (within the geographical coordinates 42–45°) and the density of solar wind protons for July 2016.

Выводы

- Для территории Северного Кавказа прослеживается реакция опасных гидрометеорологических явлений на проявление солнечной активности, а именно, плотности протонов солнечного ветра.
- Выполненный корреляционный и регрессионный анализ между числом грозových разрядов «облако-земля» в день и плотностью протонов солнечного ветра показал наличие хорошей взаимосвязи между исследуемыми параметрами.
- Получено уравнение регрессии между числом грозových разрядов «облако-земля» и плотностью протонов солнечного ветра в виде линейного уравнения. Коэффициент корреляции составил 0,66.

Библиографический список

1. Svensmark H. (1998) Influence of Cosmic Rays on Earth's Climate. *Physical Review Letters*, 81, 5027–5030.
2. Svensmark, H. (2006) Imprint of Galactic Dynamics on Earth's Climate. *Astronomische Nachrichten, Astronomical Note*, 327, 866–870.
3. Svensmark H., Calder N. 2007 *The Chilling Stars: A New Theory of Climate Change* (IconBooks, Thriplow, Cambridge).
4. Svensmark H., Friis-Christensen E. 1997 *J. Atmos. & Solar-Terrest. Phys.* 59. 1225–1232.
5. Cloud 2000 CERN/SPSC 2000-021 SPSC-P317.
6. A study of the link between cosmic rays and clouds with a cloud chamber at the CERN PS, CERN/SPSC 2000-021 SPSC/P317 april 24, 2000. 107 p.
7. Mitchell J. F. B., et al. (2001), Detection of climate change and attribution of causes, in *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, edited by J. T. Houghton et al., chap. 12, pp. 695–738, Cambridge Univ. Press, New York.
8. Bork N., Kurtén T., Enghoff M.B., Pedersen J.O.P., Mikkelsen K.V., Svensmark H.: Ab initio studies of O₂–(H₂O)_n and O₃–(H₂O)_n anionic molecular clusters, n ≤ 12, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 7133–7142, <https://doi.org/10.5194/acp-11-7133-2011>, 2011.
9. Аджиев А.Х., Куповых Г.В., Керефова З.М., Черкесов А.А. Влияние солнечного ветра на динамику электрического

поля в приземном слое атмосферы // Известия ЮФУ. Технические науки. №5. Таганрог. 2019. С. 114–122.

10. Solar and heliospheric observatory, soho: [сайт]. URL: <https://sohoftp.nascom.nasa.gov/sdb/goes>.
11. Аджиев А.Х., Тапасханов В.О., Стасенко В.Н. Система грозопеленгации на Северном Кавказе // Метеорология и гидрология №1. 2013. С. 5–11.
12. Шамин С.И., Бухонова Л.К., Санина А.Т. «Сведения об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, которые нанесли материальный и социальный ущерб на территории России». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019621326. URL: <http://meteo.ru/data>.

References

1. Svensmark H. (1998) Influence of Cosmic Rays on Earth's Climate. *Physical Review Letters*, 81, 5027–5030.
2. Svensmark H. (2006) Imprint of Galactic Dynamics on Earth's Climate. *Astronomische Nachrichten, Astronomical Note*, 327, 866–870.
3. Svensmark H., Calder N. 2007 *The Chilling Stars: A New Theory of Climate Change* (IconBooks, Thriplow, Cambridge).
4. Svensmark H and Friis-Christensen E 1997 *J. Atmos. & Solar-Terrest. Phys.* 59. 1225–1232.
5. Cloud 2000 CERN/SPSC 2000-021 SPSC-P317.
6. A study of the link between cosmic rays and clouds with a cloud chamber at the CERN PS, CERN/SPSC 2000-021 SPSC/P317 april 24, 2000. 107 p.
7. Mitchell J.F.B., et al. (2001), Detection of climate change and attribution of causes, in *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, edited by J. T. Houghton et al., chap. 12. P. 695–738, Cambridge Univ. Press, New York.
8. Bork N., Kurtén T., Enghoff M.B., Pedersen J.O.P., Mikkelsen K.V., Svensmark H.: Ab initio studies of $O_2-(H_2O)_n$ and $O_3-(H_2O)_n$ anionic molecular clusters, $n \leq 12$, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 7133–7142, <https://doi.org/10.5194/acp-11-7133-2011>, 2011.
9. Adzhiev A.Kh., Kupovykh G.V., Kerefova Z.M., Cherkesov A.A. The influence of the solar wind on the dynamics of the electric field in the surface layer of the atmosphere // *Izvestiya SFU. Technical sciences*. No 5. Taganrog. 2019. P. 114–122.

10. Solar and heliospheric observatory, soho: [сайт]. URL: <https://sohoftp.nascom.nasa.gov/sdb/goes>.
11. Adzhiev A.Kh., Tapaskhanov V.O., Stasenko V.N. The system of lightning direction finding in the North Caucasus// Meteorology and Hydrology No. 1, 2013. P. 5–11.
12. Shamin S.I., Bukhonova L.K., Sanina A.T. «Information about dangerous and unfavorable hydrometeorological phenomena that caused material and social damage on the territory of Russia». Certificate of state registration of the database No2019621326. URL: <http://meteo.ru/data>.

Поступило в редакцию 17.08.2021,
принято к публикации 06.09.2021.

Об авторах

Аджиева Аида Анатольевна. Профессор кафедры Высшей математики и информатики ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, доцент, доктор физико-математических наук.
Адрес: 360030, КБР, г. Нальчик, ул. Тарчокова, 1а.
Телефон: +7 (960) 427-96-86. E-mail: aida-adzhieva@mail.ru.

Черкесов Аслан Артурович. Аспирант при ФГБУ «Высокогорный геофизический институт». Адрес: 360002, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина 2. Телефон: +7(988) 932-32-27.
E-mail: cherkesov2018@yandex.ru.

About the authors

Adzhieva Aida Anatolyevna. Professor of the Department of Higher Mathematics and Informatics of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University. Address: 360002, KBR, Nalchik, Tarchokov Ave. 1a. Phone: +7 (960) 427-96-86.
E-mail: aida-adzhieva@mail.ru.

Cherkesov Aslan Arturovich. Graduate student. «High-Mountain Geophysical Institute». Address: 360002, KBR, Nalchik, Lenin Ave. 2. Phone: +7 (988) 932-32-27.
E-mail: cherkesov2018@yandex.ru.

25.00.30
УДК 551.557.59

МЕТЕОРОЛОГИЯ, КЛИМАТОЛОГИЯ, АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

Хучунаев Б.М.,

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия,
e-mail: buzgigit@mail.ru

Геккиева С.О.,

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия,
e-mail: sgekkiyeva@list.ru

Будаев А.Х.

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия,
e-mail: budayalim@yandex.ru

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЬДООБРАЗУЮЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОГРАДОВЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ЛАБОРАТОРНЫХ УСТАНОВКАХ

DOI: 10.37493/2308-4758.2021.3.7

Введение.

В настоящей статье представлен метод определения льдообразующей эффективности противогородовых изделий (ПГИ) с выходом активных частиц более 107 с 1 г реагента на лабораторных установках Высокогорного геофизического института. Физической основой применения кристаллизующих реагентов является способность их аэрозолей создавать в переохлажденной облачной среде ледяные кристаллы, которые быстро растут за счет перегонки водяного пара с окружающими каплями, что способствует разрешению фазовой неустойчивости переохлажденной облачной среды [1]. Одним из наиболее широко используемых реагентов при воздействии на переохлажденные облака с целью предотвращения градобитий и вызывания осадков, является йодистое серебро AgI. Вместе с тем, эффективность данного реагента при взаимодействии с переохлажденной облачной средой при температуре минус 6 °C и выше падает. В связи с этим исследования в области повышения льдообразующей эффективности противогородовых изделий являются достаточно актуальными и по настоящее время.

Материалы и методы исследования.

Мерой эффективности льдообразующего реагента является количество активных частиц, полученных из единицы массы реагента (далее – выход), переведенного в аэрозоль тем или иным способом, в частности, сжиганием пиротехнического состава с льдообразующим веществом. Принцип измерения эффективности льдообразующего реагента состоит в определении числа ледяных кристаллов, образующихся при введении известного количества исследуемого реагента в виде аэрозоля в переохлажденный водный туман. В качестве рабочего материала для лабораторных исследований были рассмотрены пиротехнические составы, которые используются в противогородовых изделиях (ПГИ) типа «Алазань-6» и «Алазань-9» [2, 3, 4].

Результаты исследования и их обсуждение.

В статье представлен метод определения льдообразующей эффективности противогородовых изделий на лабораторных установках ВГИ. Использование данного метода позволит повысить льдообразующую эффективность противогородовых изделий с использованием различных добавок к пиротехническому составу.

Выводы.

Метод, представленный в настоящей статье, может быть использован научно-исследовательскими учреждениями, военизированными службами активных воздействий и другими организациями Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), осуществляющими разработку, внедрение и испытание новых льдообразующих реагентов и пиротехнических составов.

Ключевые слова:

активные воздействия, пиротехнический состав, реагент, льдообразующие частицы.

- Khuchunaev B.,** Federal State Budgetary Institution «High-Mountain Geophysical Institute», Russia, Nalchik,
e-mail: buzgigit@mail.ru
- Budaev A.,** Federal State Budgetary Institution «High-Mountain Geophysical Institute», Russia, Nalchik,
e-mail: budayalim@yandex.ru
- Gekkueva S.** Federal State Budgetary Institution «High-Mountain Geophysical Institute», Russia, Nalchik,
e-mail: sgekkueva@list.ru

Methods for Determining the Ice-forming Efficiency of Anti-hail Products on Laboratory Installations

- Introduction.** This article presents a method for determining the ice-forming efficiency of anti-hail products with an output of more than 107 active particles per 1 g of reagent at laboratory facilities of the High Mountain Geophysical Institute. The physical basis for the use of crystallizing reagents is the ability of their aerosols to create ice crystals in a supercooled cloud environment, which grow rapidly due to the distillation of water vapor from surrounding droplets, which helps to resolve the phase instability of a supercooled cloud environment [1]. One of the most widely used reagents when exposed to supercooled clouds in order to prevent hail and precipitation is silver iodide AgI. At the same time, the effectiveness of this reagent when interacting with a supercooled cloudy environment at a temperature of minus 6 °C and above decreases. In this regard, studies in the field of increasing the ice-forming efficiency of anti-hail products are quite relevant to the present time.
- Materials and methods of the research.** A measure of the effectiveness of the ice-forming reagent is the number of active particles obtained from a unit mass of the reagent (hereinafter referred to as the yield), converted into an aerosol in one way or another, in particular, by burning a pyrotechnic composition with an ice-forming substance. The principle of measuring the effectiveness of an ice-forming reagent consists in determining the number of ice crystals formed when a known amount of the reagent under study is introduced in the form of an aerosol into a supercooled water mist. Pyrotechnic compositions used in anti-hail products such as «Alazan-6» and «Alazan-9» were considered as a working material for laboratory research [2, 3, 4].
- The results of the study and their discussion.** The article presents a method for determining the ice-forming efficiency of anti-hail products at laboratory facilities of the High Mountain Geophysical Institute. The use of this method will increase the ice-forming efficiency of anti-hail products using various additives to the pyrotechnic composition.
- Conclusions.** The method presented in this article can be used by research institutions, paramilitary services of active influence and other organizations of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, which develop, introduce and test new ice-forming reagents and pyrotechnic compositions.
- Keywords:** active influences, pyrotechnic composition, reagent, ice-forming particles.

Введение

Принцип оценки эффективности ПГИ состоит в определении числа ледяных кристаллов, образующихся при введении известного количества пиротехнического состава в виде аэрозоля в переохлажденный водный туман. Туман создается в охлаждаемой облачной камере пуском струи горячего водяного пара или механическим диспергированием воды. Исследуемый пиротехнический состав предварительно переводят в аэрозоль в отдельном резервуаре – аэрозольной камере. Количество образовавшихся ледяных кристаллов оценивается по числу кристаллов, выпавших на единицу площади пола облачной камеры. Улавливание кристаллов производится либо на пленку репликаобразующего вещества, которая после затвердевания сохраняет отпечатки осевших ледяных кристаллов, либо в микротермостат, сохраняющий ледяные кристаллы в течение времени, достаточного для их подсчета с помощью оптического микроскопа [5, 6, 7].

Материалы и методы исследования

Необходимым лабораторным оборудованием в методе являются охлаждаемая облачная камера (КПТ), камера для получения аэрозоля (аэрозольная камера), ультразвуковой парогенератор, устройство (шприц) для дозированного отбора проб аэрозоля и автоматизированная система для подсчета ледяных кристаллов, которая состоит из персонального компьютера (ПК) и оптического микроскопа Motis с видеокамерой. Средствами измерений являются термометр для измерения температуры в рабочем объеме облачной камеры, измеритель влажности, секундомер, весы для взвешивания образцов реагента (пиросостава). Состав типовой установки (рис. 1):

- облачная камера (на основе холодильного агрегата ФАК–1,5МЗ) объемом 0,080 м³; облачная камера TSW–300;
- аэрозольная камера объемом 2,0 м³ с автономной системой очистки;
- ультразвуковой парогенератор Electrolux EHU–2510D мощностью 140 Вт;
- электронные весы «Adventurer» с точностью взвешивания до 10^{–4} г;

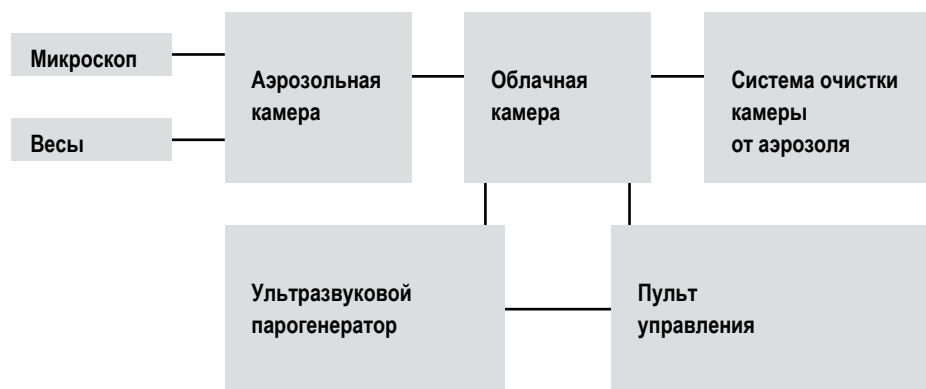


Рис. 1. Состав типовой установки.

Fig. 1. Typical installation composition.

- микроскоп Motic;
- пульт управления устройствами внутри облачной камеры и парогенератором.

Аэрозольная камера представляет собой прямоугольный короб объемом 1 м³. Аэрозольная камера изготовлена из винипласта, передняя стенка выполнена из оргстекла. В этой стенке имеется дверца для введения в камеру устройства для получения аэрозолей и небольшой люк, через который с помощью шприца отбираются пробы аэрозоля для исследования в облачной камере. Внутри аэрозольной камеры, на одной из боковых стенок, установлен вентилятор, используемый для выравнивания концентрации получаемого аэрозоля. Для очистки камеры от аэрозоля в ее потолке сделано отверстие, закрываемое крышкой на время опыта и соединяющее при необходимости камеру с вытяжкой вентиляционной трубой. Для ускорения процесса очистки и более полного удаления частиц аэрозольная камера снабжена обводной трубой, на входе которой установлен аэрозольный фильтр. Ускоренная очистка производится при принудительном протягивании камерного воздуха через аэрозольный фильтр с помощью воздуходувки.

Ультразвуковой парогенератор создает водяной пар из дистиллированной воды ультразвуковой мембраной. Для отбора проб аэрозолей применяется шприц объемом от 20 до 250 см³ с ценой деле-

ния от 1 до 10 см³ соответственно. Для подсчета кристаллов используется микроскоп типа Motis с увеличением от 100 раз.

При проведении испытаний контролируются следующие параметры с использованием инструментальных средств измерений: измерение температуры в облачной и аэрозольной камерах должно производиться измерителем температуры с диапазоном измеряемых температур от минус 25 до 25 °С и погрешностью показаний не более $\pm 0,3$ °С; измерение времени должно производиться секундомером с ценой деления 1 с; измерение массы переводимого в аэрозоль вещества производится с помощью микроаналитических весов с точностью 0,01 мг.

Результаты исследования и их обсуждение

При повышении температуры в рабочем объеме КПТ до значения на 1,5–2 °С ниже необходимой температуры опыта производят возгонку навески пиросоостава в аэрозольной камере. Образовавшийся аэрозоль перемешивается вентилятором в течение 30–45 с. Вентилятор отключают и аэрозоль оставляют в аэрозольной камере на 30–60 с. Во время выдержки аэрозоля в аэрозольной камере репликообразующим раствором смазывают предназначенное для экспонирования предметное стекло в заборнике ледяных кристаллов. Для этого стеклянной палочкой на стекло вручную наносят каплю из находящейся в КПТ бюксы с раствором. Каплю раскатывают в тонкую пленку с помощью стеклянного валика. Палочка и валик находятся постоянно в рабочем объеме КПТ и имеют ее температуру.

Включают парогенератор и пуском струи пара в КПТ создают туман. На время пуска пара стекло в заборнике закрывают заслонкой, а в КПТ 1–2 раза включают вентилятор на 1–2 с для получения более однородного тумана. После создания в КПТ тумана с помощью шприца производят отбор пробы аэрозоля из аэрозольной камеры. Пробу вводят в КПТ. Сразу после введения пробы в КПТ включают вентилятор на 1–2 с для равномерного распределения аэрозольных частиц в рабочем объеме. Заслонку заборника открывают и образовавшиеся кристаллы улавливаются на стеклянную пластинку с пленкой репликообразующего раствора в течение до полного рассеяния тумана. Одновременно интенсивность образования ле-

данных кристаллов приблизительно оценивают визуально в пучке света. Сразу после открытия заслонки заборника фиксируют показание термометра в облачной камере с точностью до 0,5 дел. ($\pm 0,1$ °C). Во время осаждения кристаллов производят очистку аэрозольной камеры. Для этого камеру соединяют с вытяжной вентиляционной трубой. Одновременно открывают люк в передней дверце аэрозольной камеры для поступления воздуха в камеру из лабораторного помещения. Очистку камеры производят не менее 10 мин. При необходимости более полной очистки аэрозольной камеры производят дополнительную очистку протягиванием камерного воздуха через фильтр. Для этого камеру отсоединяют от вытяжной трубы и полностью закрывают. На 5 мин включают воздухоудку, осуществляющую принудительную перекачку камерного воздуха через фильтр по обводной трубе. В КПТ по окончании экспонирования стекло поворотом диска убирают под крышку кожуха заборника, отверстие в кожухе закрывают заслонкой и в КПТ вводят новую порцию пара для вымывания остаточных частиц, активирующихся в течение более длительного времени. Для полного очищения КПТ обычно достаточно 1–2 пусков пара, производимых при температуре на 1–5 °C ниже, чем температура последующего опыта. По окончании очистки установка готова для нового измерения. Регистрация образующихся в КПТ ледяных кристаллов производится с помощью метода получения твердых отпечатков-реплик на пленке полиметилметакрилата. Для приготовления репликообразующего раствора 10–15 см³ мономера метилметакрилата кипятится в пробирке с добавкой 2–4 мг перекиси бензоила в течение 10–30 мин. Оптимальная длительность кипячения зависит от условий предварительного хранения мономера и не может быть указана точно. Кипячение заканчивают, когда образующиеся в жидкости пузырьки не в состоянии выплыть на поверхность и прилипают ко дну пробирки. Подготовленный таким образом полиметилметакрилат хранится в бьюксе с притертой пробкой в облачной камере. Оптимальная по густоте и толщине пленка полиметилметакрилата должна давать четкие отпечатки кристаллов с размерами более 5 мкм, а также крупных облачных капель (в виде точек).

Экспонированные предметные стекла оставляют в заборнике на 2–3 ч при поддержании в КПТ температуры ниже 0 °C (во избе-

жание таяния кристаллов) до полного затвердевания репликообразующего раствора. После окончания процесса осаждения кристаллов предметные стекла извлекаются и полученные кристаллы фотографируются в цифровом микроскопе Motic с последующим их программным или ручным подсчетом.

На выбранных, по визуальной оценке, удовлетворительных участках стекла определяется число ледяных кристаллов на нескольких полях зрения. Число обсчитываемых полей зрения устанавливается по среднему числу ледяных кристаллов в поле зрения так, чтобы $\bar{n} \cdot n_1 \geq 100$. При количестве кристаллов $\bar{n} \leq 100$ просматривается вся поверхность предметного стекла.

Обработка результатов измерений. Оценка показателей точности измерений выхода активных частиц [8, 9, 10].

*Расчетная формула для вычисления
выхода активных частиц*

Выход активных частиц N на единицу массы переведенного в аэрозоль вещества (Γ^{-1}) определяется по формуле

$$N = \frac{\bar{n}VS}{svm}, \quad (1)$$

где $\bar{n}$ – среднее арифметическое значение числа ледяных кристаллов n_i в поле зрения микроскопа

$$\bar{n} = \sum_{i=1}^{n_1} n_i / n_1, \quad (2)$$

где V – объем аэрозольной камеры, см³;
 S – площадь пола облачной камеры, см²;
 s – площадь поля зрения микроскопа, см²;
 v – объем пробы аэрозоля, см³;
 m – масса переведенного в аэрозоль вещества, г.
 $\bar{n}_1$ – число просмотренных полей зрения.

В случае $\bar{n} \leq 1$ и просмотре всей поверхности стекла s в формуле (1) заменяется площадью, ограниченной предельным перемещением предметного столика.

Результаты измерения N при различных температурах тумана могут оформляться в виде таблицы $N - T$ или графической зависимости $N(T)$, построенной в полулогарифмической шкале $\log N(T)$.

*Оценка погрешности результата
измерения выхода активных частиц*

Суммарная относительная погрешность δ_N отдельного измерения выхода активных частиц N складывается из двух случайных составляющих: погрешности, связанной с погрешностью в измерении температуры опыта δ_T , и погрешности определения величины N , исходя из формулы (1) по правилам вычисления погрешности косвенных измерений δ

$$\delta_N = \pm \sqrt{\delta_T^2 + \delta^2}. \quad (3)$$

Для большинства исследуемых типов зависимостей $N(T)$ с наклоном кривых $\Delta N/(\Delta T \cdot N)$ от 0,5 до 1 $(^\circ\text{C})^{-1}$, относительная погрешность δ_T составляет от 10 % до 20 %.

Определяемыми величинами в формуле (1) являются – среднее количество ледяных кристаллов в поле зрения микроскопа $\bar{n}$, объем вводимого в КПТ пробы аэрозоля v и масса переводимого в аэрозоль вещества m .

Поэтому

$$\delta = \pm \sqrt{\delta_{\bar{n}}^2 + \delta_v^2 + \delta_m^2}, \quad (4)$$

где $\delta_{\bar{n}}$, δ_v и δ_m – относительные погрешности определения переменных величин $\bar{n}$, v и m .

Величина $\delta_{\bar{n}}$ является средней квадратичной погрешностью в измерении среднего числа ледяных кристаллов в поле зрения микроскопа и составляет ± 15 %.

Относительная погрешность определения массы переводимой в аэрозоль навески вещества δ_m в интервале значений m от 10 до 300 мг, измеряемых с помощью микроаналитических весов, составляет от ± 10 % до $\pm 0,1$ %. Относительная погрешность определения объема пробы аэрозоля при использовании шприца с ценой деления 10 мл для обычно применяемых объемов от 50 до 200 см^3 составляет от ± 10 % до ± 3 %.

С учетом этих величин максимальное значение погрешности составляет

$$\delta_{\min} = \pm \sqrt{0,15^2 + 0,1^2 + 0,1^2} = \pm 0,206 = \pm 21 \, \%.$$

Минимальное значение

$$\delta_{\min} = \pm \sqrt{0,15^2 + 0,03^2 + 0,003^2} = \pm 0,150 = \pm 15 \, \%.$$

Суммарная погрешность отдельного измерения выхода активных частиц δ_N имеет максимальное $\pm 29 \, \%$ и минимальное значение $\pm 18 \, \%$.

Регистрация результатов измерений и расчетов выхода активных частиц

В рабочий журнал записывают: наименование исследуемого состава; название (тип) сжигающего устройства и характеристики используемого режима его работы; дату; номер опыта; температуру тумана; массу переведенной в аэрозоль навески состава; номер предметного стекла; объем пробы аэрозоля; визуальную оценку примерного числа ледяных кристаллов в пучке света.

После обработки результатов в журнал записывают среднее число ледяных кристаллов в поле зрения микроскопа, общее расчетное число кристаллов в рабочем объеме КПТ, массу введенного в КПТ пиросостава и выход активных частиц в расчете на единицу массы исследованного пиросостава.

Предел обнаружения и диапазон изменения определяемой величины

Минимальное и максимальное определяемые значения выхода активных частиц определяются методом регистрации частиц, объемом используемой аэрозольной камеры и допустимым по средствам измерения количеством диспергируемого в аэрозоль вещества. В данном методе они составляют 10^7 и $10^{19} \, \text{г}^{-1}$.

В качестве верхнего предела может рассматриваться теоретический выход активных частиц для наиболее активного льдообразующего вещества – йодистого серебра – при наименьшей температуре измерения минус $25 \, ^\circ\text{C}$, равный $10^{19} \, \text{г}^{-1}$.

Погрешность метода

Основная погрешность складывается из систематической и случайной составляющих. Систематическая составляющая основной погрешности обусловливается потерями аэрозольных частиц (их коагуляцией и осаждением) во время подготовительных операций по введению аэрозоля в переохлажденный туман и наличием неустраняемых температурных градиентов в рабочем объеме КПТ, приводящих к активации части ядер при температурах, отличных от температуры опыта, регистрируемой в центре КПТ. При обычной продолжительности подготовительных операций 1–3 мин суммарные потери аэрозольных частиц с начальной концентрацией менее 10^7 см^{-3} и размерами менее $5 \cdot 10^{-5} \text{ см}$, согласно экспериментальной оценке, не превышают 5%. Систематическая погрешность, связанная с температурными градиентами в КПТ, зависит от вида температурной зависимости выхода $N(T)$ и при градиентах менее $0,03 \text{ }^\circ\text{C/см}$ не превышает 5% для участков $N(T)$, где выход мало меняется с температурой ($\Delta N/\Delta T \leq 0,1N \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), увеличиваясь до 25% вблизи температурного порога активности пиросостава, где $\Delta N/\Delta T \geq N \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Случайная составляющая основной погрешности складывается из погрешности в определении исходной массы переводимого в аэрозоль пиросостава; погрешности в определении объема пробы исследуемого аэрозоля; погрешности определения числа активируемых частиц (ледяных кристаллов) и погрешности измерения температуры переохлажденного тумана. Две первые погрешности определяются погрешностями весов и шприца – отборника проб, и каждая из них не превышает $\pm 10 \%$.

Погрешность в определении числа кристаллов состоит из погрешности подсчета кристаллов, не превышающей $\pm 5 \%$, и погрешности, обусловленной ограниченностью выборки – флуктуациями числа n кристаллов, попадающих в поле зрения микроскопа. Эта погрешность может быть снижена путем увеличения числа обсчитываемых полей зрения с тем, чтобы погрешность, определяемая по закону Пуассона как $1/\sqrt{\bar{n}} \cdot n_1$ ($\bar{n}$ – среднее число кристаллов в поле зрения, n_1 – число полей), оставалась на достаточно низком уровне (не более $\pm 10 \%$). Случайная составляющая погрешности измерения, связанная с погрешностью в определении температуры переохла-

лажденного тумана, зависит от характера температурной зависимости выхода. Для наиболее типичных участков температурного спектра $\Delta N/\Delta T$ от $0,05 \cdot N^{\circ}\text{C}^{-1}$ до $0,1 \cdot N^{\circ}\text{C}^{-1}$ она составляет $\pm(10-20)\%$. При более резком изменении N с температурой $\Delta N/\Delta T \geq N^{\circ}\text{C}^{-1}$ погрешность возрастает до 80 % и более.

Производительность метода

Длительность одного опыта составляет от 40 до 50 мин, что с учетом подготовительных операций позволяет проводить 6–8 измерений в течение 8-часового рабочего дня.

Выводы

На основе исходного льдообразующего топлива АД-1 разработан метод определения льдообразующей эффективности противогорадовых изделий на лабораторных установках. Данный метод рекомендуется использовать для получения новых эффективных пиротехнических составов для оснащения метеорологических ракет, предназначенных для активных воздействий на грозоградовые облака с целью искусственного увеличения жидких осадков и борьбы с градом [11, 12, 13].

Библиографический список

1. Абшаев А. М., Абшаев М.Т. и др. Руководство по организации и проведению противогорадовых работ. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Нальчик, 2014. 315 с.
2. Хучунаев Б.М., Байсиев Х.-М.Х., Геккиева С.О., Будаев А.Х. Экспериментальные исследования льдообразующей эффективности пиротехнического состава АД-1 с добавками цинка // Труды ГГО. Вып. 597, 2020. С. 51–60.
3. Wegener A. Thermodynamic der Atmosphäre. Leipzig, 1911. P. 311.
4. Vonnegut B. Experiments with silver-iodide smokes in the natural atmosphere. Bull. Amer. Meteor. Soc., 1950, Vol. 31. 65 p.
5. Никандров В.Я. Искусственные воздействия на облака и туманы. Л.: Гидрометеоиздат, 1959. 271 с.
6. Закинян Р.Г. Кинетика роста льда на поверхностях предметов различных форм, помещенных в поток переохлажден-

ного аэрозоля // Материалы V научно-технической конференции СК ГТУ, 2001. С. 20.

7. Khuchunaev B.M., Baysiev Kh.-M. Kh, Gekkieva S.O., Budaev A. Kh. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering PAPER • OPEN ACCESS Researches of ice-forming efficiency of products of sublimation of pyrotechnic compositions consisting of silver iodide AgI particles and zinc oxide. 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1083 012097.
8. Ивлев Л.С., Довгалюк Ю.А. Физика атмосферных аэрозольных систем. СПб.: НИИХ СПбГУ, 1999. 76 с.
9. Вопросы физики облаков. Сборник избранных статей ГГО. Астерион, СПб., 2008. С. 98–106.
10. Емельянов В.Н., Несмеянов П.А., Эрландц Н.Ю., Шакиров И.Н. Результаты разработки новых пиротехнических составов льдообразующего аэрозоля для средств активного воздействия на облака // Труды юбилейной конф., посвящ. 40-летию начала производств. работ по защите от града. Нальчик: Печатный двор, 2011. С. 259–260.
11. Хучунаев Б.М., Геккиева С.О., Будаев А.Х. Аппаратура, методика и предварительные результаты измерения удельного заряда на частицах реагента, образующихся при возгонке пиротехнических составов // Труды ГГО. Вып. 599. 2020. С. 128.
12. Хучунаев Б.М., Панаэтов В.П., Хучунаев А.Б. Исследование образования нанотрубок оксида цинка // Материалы Международного симпозиума, посвященного 20-летию создания ФГБУ науки Кабардино-Балкарского научного центра РАН, 2013. С. 61–63.
13. Хучунаев Б.М., Панаэтов В.П., Хучунаев А.Б. Аппаратура и методика лабораторного моделирования начальной стадии роста града // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. № 4 (158), 2010. С. 64–67.

References

1. Abshaev A.M., Abshaev M.T. et al. Guidelines for organizing and carrying out anti-hail works. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet). Nalchik, 2014. 315 p.
2. Khuchunaev B.M., Baisiev H.-M.Kh., Gekkieva S.O., Budaev A.Kh. Experimental studies of the ice-forming efficiency of the AD–1 pyrotechnic composition with zinc additions. Collection «Proceedings of the MGO». Issue 597. 2020. 51–60 p.

3. Wegener A. Thermodynamic der Atmosphere. Leipzig, 1911. 311 p.
4. Vonnegut B. Experiments with silver-iodide smokes in the natural atmosphere. Bull. Amer. Meteor. Soc. Vol. 31. 1950. 65 p.
5. Nikandrov V.Ya. Artificial influences on clouds and fogs. L.: Gidrometeoizdat, 1959. 271 p.
6. Zakinyan R.G. Kinetics of ice growth on the surfaces of objects of various shapes placed in a stream of supercooled aerosol // Proceedings of the V scientific and technical conference SK GTU, 2001. 20 p.
7. Khuchunaev B.M., Baysiev Kh.-M. Kh, Gekkieva S.O., Budaev A. Kh. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering PAPER • OPEN ACCESS Researches of ice-forming efficiency of products of sublimation of pyrotechnic compositions consisting of silver iodide AgI particles and zinc oxide. 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.1083 012097.
8. Ivlev L.S., Dovgalyuk Yu.A. Physics of atmospheric aerosol systems. Saint Petersburg: NIIH SPbGU, 1999. 76 p.
9. Questions of the physics of clouds. Collection of selected articles of the MGO. Asterion, St. Petersburg, 2008. P. 98–106.
10. Emelyanov V.N., Nesmeyanov P.A., Erlandts N.Yu., Shakirov I.N. Results of the development of new pyrotechnic compositions of ice-forming aerosol for means of active influence on clouds // Proceedings of the jubilee conference, dedicated to the 40th anniversary of the beginning of production works on protection from hail. Nalchik: Printing House, 2011. P. 259–260.
11. Huchunaev B.M., Gekkieva S.O., Budaev A.Kh. Apparatus, methodology and preliminary results of measuring the specific charge on reagent particles formed during the sublimation of pyrotechnic compositions. Collection «Proceedings of the MGO». Issue 599, 2020. P. 128.
12. Khuchunaev B.M., Panaetov V.P., Khuchunaev A.B. Investigation of the formation of zinc oxide nanotubes // Materials of the International Symposium dedicated to the 20th anniversary of the establishment of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2013. P. 61–63.
13. Khuchunaev B.M., Panaetov V.P., Khuchunaev A.B. Equipment and methods of laboratory modeling of the initial stage of the growth of the city // News of higher educational institutions. North Caucasian region. № 4 (158), 2010. P. 64–67.

Поступило в редакцию 27.08.2021,
принято к публикации 06.09.2021.

Сведения об авторах

Хучунаев Бузжигит Муссаевич, докт. физ.-мат. наук, зав. лабор. МФО ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия, г. Нальчик, пр. Ленина, 2.
E-mail: buzgigit@mail.ru

Геккиева Сафият Омаровна, канд. ф.-м. н., СНС ЛМФО ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия, г. Нальчик, пр. Ленина, 2.
Тел. 8(928) 69-36-444. E-mail: sgekkieva@list.ru

Будаев Алим Хадисович, МНС лабор. МФО ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия, г. Нальчик, пр. Ленина, 2. E-mail: budayalim@yandex.ru

About authors

Khuchunaev Buzzhigit, Doctor of Physical and Mathematical Sciences Department of cloud physics, Federal State Budgetary Institution «High-Mountain Geophysical Institute», Russia, KBR, 360000, Nalchik, Lenin Ave., 2. E-mail: buzgigit@mail.ru

Gekkieva Safiyat, candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Microphysics of Clouds of the Federal State Budgetary Institution «High-Mountain Geophysical Institute», Russia, KBR, 360000, Nalchik, Lenin Ave., 2.
Phone: 8(928) 69-36-444, sgekkieva@list.ru

Budaev Alim Khadisovich, junior researcher Federal State Budgetary Institution «High-Mountain Geophysical Institute», Russia, KBR, 360000, Nalchik, Lenin Ave., 2.
E-mail: budayalim@yandex.ru

25.00.36
УДК 504.4.054

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Атабиева Ф.А.,

Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик, Россия,
atabieva0812@mail.ru

Чередник Е.А.,

Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик, Россия

Острова А.С.

Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик, Россия

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ СОДЕРЖАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ РЕК МАЛКА И БАКСАН

DOI: 10.37493/2308-4758.2021.3.8

Введение.

Качество воды сегодня, особенно пресной, стало одним из важнейших факторов здоровья населения. Во всем мире наибольшую опасность водам суши несет загрязнение воды соединениями тяжелых металлов, так как они не подвергаются биodeградации и обладают способностью накапливаться в различных компонентах экосистемы. Наряду с установлением концентраций особое значение приобретает изучение общих закономерностей распределения соединений тяжелых металлов по отдельным участкам водных объектов в основные фазы водного режима.

Материалы и методы исследований.

Пробы речной воды отбирались в период 2005–2019 годы в основные фазы водного режима – зимнюю межень и в пик половодья. При отборе проб воды фиксировались температура воздуха, воды и прозрачность. В стационарных условиях во всех отобранных пробах измерялась величина pH. Консервация проб осуществлялась азотной кислотой. Определение уровня содержания растворенных форм соединений тяжелых металлов (Cr, Ni, Mo, Mn, Zn, Pb, Cd) проводилось атомно-абсорбционным методом с использованием спектрометра с электротермической атомизацией «МГА-915М».

Результаты исследования и их обсуждение.

В данной статье представлены результаты многолетних наблюдений по выявлению степени загрязненности воды рек Малка и Баксан соединениями тяжелых металлов, таких как хром, никель, молибден, марганец, цинк, свинец и кадмий (Cr, Ni, Mo, Mn, Zn, Pb, Cd). Содержание растворенных форм тяжелых металлов в воде исследованных рек подвержено значительной пространственной и сезонной изменчивости: значения концентраций в нижнем течении рек значительно выше, чем в среднем, за исключением соединений молибдена в воде реки Баксан. Характерно повышенное содержание растворенных форм соединений тяжелых металлов в воде рек в летнее половодье, при переходе рек на грунтовое питание концентрации уменьшаются в 1,5–2 раза.

Выводы.

Наблюдаемые максимальные значения концентраций соединений тяжелых металлов в воде рек в летнее половодье, очевидно, объясняются склоновыми процессами смыва рыхлого обломочного материала талыми водами ледников и снега, грунтовыми и поверхностными водами. Эти процессы неконтролируемо формируют уровень содержания соединений тяжелых металлов в воде рек. Выявленные уровни содержания соединений тяжелых металлов в воде рек за исследуемый многолетний период, а также частота случаев превышения предельно допустимых концентраций иллюстрированы графиками.

Ключевые слова:

Реки Малка и Баксан, соединения тяжелых металлов, загрязняющие вещества, среднее течение, нижнее течение рек, основные фазы водного режима.

Atabieva F.A., Vysokogorny Geophysical Institute, Nalchik, Russia
atabieva0812@mail.ru
Cherednik E.A., Vysokogorny Geophysical Institute, Nalchik, Russia
Otarova A.S. Vysokogorny Geophysical Institute, Nalchik, Russia

Spatial-time variability of the level of heavy metal compounds in the water of the Malka and Baksan rivers

Introduction. The quality of water today, especially fresh water, has become one of the most important factors in the health of the population. All over the world, the greatest danger to land waters is the pollution of water with heavy metal compounds, since they do not undergo biodegradation and have the ability to accumulate in various components of the ecosystem. Along with the establishment of concentrations, it is of particular importance to study the general regularities in the distribution of heavy metal compounds in individual areas of water bodies during the main phases of the water regime.

Materials and methods of the research. River water samples were taken in the period 2005–2019 during the main phases of the water regime - winter low-water period and at the peak of high water. When taking water samples, the temperature of air, water and transparency were recorded. Under stationary conditions, the pH value was measured in all the samples taken. The samples were preserved with nitric acid. Determination of the content of dissolved forms of heavy metal compounds (Cr, Ni, Mo, Mn, Zn, Pb, Cd) was carried out by the atomic absorption method using a spectrometer with electrothermal atomization "MGA-915M".

The results of the study and their discussion. This article presents the results of long-term observations to identify the degree of water pollution in the Malka and Baksan rivers with compounds of heavy metals such as chromium, nickel, molybdenum, manganese, zinc, lead and cadmium (Cr, Ni, Mo, Mn, Zn, Pb, Cd). The content of dissolved forms of heavy metals in the water of the studied rivers is subject to significant spatial and seasonal variability: the concentration values in the lower reaches of the rivers are much higher than the average, with the exception of molybdenum compounds in the water of the Baksan River. An increased content of dissolved forms of heavy metal compounds in the water of rivers during the summer flood is characteristic, when the rivers pass to ground water, the concentrations decrease by 1.5-2 times.

Conclusions. The observed maximum values of the concentrations of heavy metal compounds in river water during the summer flood are obviously explained by the slope processes of the washout of loose detrital material by melt water of glaciers and snow, ground and surface waters. These processes uncontrollably form the level of heavy metal compounds in river water. The revealed levels of heavy metal compounds in river water for the studied long-term period, as well as the frequency of cases of exceeding the maximum permissible concentrations are illustrated by graphs.

Key words: Rivers Malka and Baksan, heavy metal compounds, pollutants, middle course, lower course of rivers, main phases of the water regime.

Введение

На сегодняшний день загрязнение воды рек соединениями тяжелых металлов стало особой проблемой, так как вода является основной средой миграции тяжелых металлов в биосфере. Соединения тяжелых металлов в воде рек стабильны и сохраняют-

ся длительное время даже после устранения источника загрязнения. Они не подвергаются биodeградации и обладают способностью аккумулироваться в различных компонентах экосистемы, в том числе и в живых организмах [1–3]. Наряду с установлением концентраций соединений тяжелых металлов особое значение приобретает изучение общих закономерностей их распределения по отдельным участкам водных объектов в основные фазы водного режима.

Исследования по оценке уровня содержания соединений тяжелых металлов проводятся сотрудниками аккредитованной лаборатории аналитической химии в Высокогорном геофизическом институте путем отбора проб воды при проведении маршрутно-экспедиционных работ вдоль северного склона Центрального Кавказа. В данной работе представлены многолетние данные (2005–2019 гг.) пространственной изменчивости (среднее и нижнее течение) уровня содержания соединений тяжелых металлов в воде рек Малка, Баксан в основные фазы водного режима. В качестве нормативов использовались ПДК загрязняющих веществ в водоемах рыбохозяйственного назначения [4].

Река Малка — самый большой левобережный приток Терека, ее длина 200 км, площадь водосбора 10500 км². Река берет начало с ледников северного склона Эльбруса и имеет горный характер течения. Площадь оледенения в бассейне реки достигает 593 км², что составляет около 6% от общей площади водосбора.

Река Баксан. Длина реки 169 км, площадь её водосборного бассейна 6800 км². Баксан берёт своё начало из-под ледников в районе Эльбруса. Река имеет множество притоков, наиболее крупными из которых являются реки Черек и Чегем, которые впадают в нее чуть выше слияния с Малкой [5].

Бассейны этих рек, поперечных по отношению к оси Главного Кавказского хребта, по целому ряду признаков могут рассматриваться как самостоятельные области. Водосбор, перенос обломочных материалов, режим поверхностных вод, минеральные ресурсы — все это может быть сгруппировано по отдельным речным бассейнам. Однако, как бы ни были разнообразны природные факторы на протяжении одной долины, они повторяются в той же последовательности и во всех соседних долинах. Другими словами, мы имеем зональное распределение природных факторов параллельно

общему простиранию Главного Кавказского хребта. В бассейнах можно выделить такие зоны:

- а) Высокогорная приледниковая область. Эта область сложена гранитами и древними кристаллическими сланцами, характерной чертой высокогорной области является приледниковое выветривание. Вблизи границы вечных снегов частое замерзание и оттаивание воды в трещинах горных пород ведет к быстрому разрушению пород и накоплению больших количеств обломков. Эти обломочные каменные массы перемещаются вниз в долины. Все эти рыхлые накопления служат аккумуляторами влаги и замедляют сток атмосферных вод.
- б) Сланцевая зона расположена между высокогорной зоной и передовым известняковым хребтом. Здесь развиваются продольные долины, впадающие в поперечные долины. Формы рельефа здесь мягче, чем в высокогорной зоне. Характерно развитие карстовых явлений.
- в) Зона предгорий сложена меловыми и третичными отложениями. Абсолютные высоты постепенно убывают к северу, формы рельефа также становятся мягче. Все же расчлененность местности гидрографической сетью остается значительной. Толщи твердых пород образуют повышенные гряды, параллельные простиранию всей полосы. Еще одна морфологическая особенность предгорной зоны выражается в том, что не только главные, но и второстепенные долины перед выходом из области гор расширяются и обнаруживают накопления аллювиальных галечных отложений в виде террас [6].

Как отмечено выше, важным фактором разрушения горных пород является процесс их многократного промерзания – оттаивания (физическое выветривание). Одновременно с физическим выветриванием пород происходит химическое, которое сводится к основным химическим реакциям окисления и гидролиза.

В результате таких химических реакций в жидком стоке часть влекомого материала переходит в растворенную форму. Поэтому в горных речных бассейнах, где отсутствует антропогенное воздействие, главными фактором, определяющим состав растворенных веществ в жидком стоке, является состав горных пород [7].

Материалы и методы исследований

Пробы речной воды отбирались в период 2005–2019 гг., каждый год в феврале (зимняя межень) и в июле (пик половодья), т.е. два раза в год в основные фазы водного режима. Средне многолетние концентрации соединений тяжелых металлов в табл. 1 рассчитывались отдельно для летнего половодья. На рисунках 1 и 2 даны результаты концентраций соединений тяжелых металлов также в период летнего половодья за 2005–2019 годы, и представлен сравнительный анализ максимальных концентраций соединений тяжелых металлов в основные фазы водного режима (таблица 2). По длине рек отбор проб воды проводился в постоянных пунктах, которые расположены в среднем течении: р. Баксан (с. Исламей, 100 км от истока), р. Малка (с. Сармаково, 88 км от истока); пункты в нижнем течении: р. Баксан (г. Прохладный, 169 км от истока), р. Малка (г. Прохладный, 190 км от истока). При отборе проб воды фиксировались температура воздуха, воды и прозрачность. Консервация проб осуществлялась азотной кислотой. В стационарных условиях во всех отобранных пробах измерялась величина pH. Определение уровня содержания растворенных форм соединений тяжелых металлов (Cr, Ni, Mo, Mn, Zn, Pb, Cd) проводилось атомно-абсорбционным методом с использованием спектрометра с электротермической атомизацией «МГА-915М» [8].

Уровень загрязнения воды рек растворенными формами соединений тяжелых металлов оценивали по частоте повторяемости превышения ПДК. При оценке загрязненности поверхностных вод пользовались перечнем нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного назначения [4]. Для математико-статистической обработки данных применялась программа Excel [9].

Результаты исследований и их обсуждение

Многолетняя изменчивость уровня содержания соединений тяжелых металлов в среднем и нижнем течении рек рассмотрена по средним концентрациям (X_{cp}), диапазонам колебаний концентраций ($X_{мин} - X_{макс}$), медианным значениям концентраций (X_{50}) (табл. 1). Диапазон колебаний является важной характеристикой ряда, дает первое общее представление о различии показателей внутри совокупности [9]. В воде рек Малка и Баксан по многолетним значениям средних концентраций (X_{cp}) и диапазонов колебаний концентраций ($X_{мин} - X_{макс}$) не отмечены превышения ПДК по соединениям хрома, кадмия и никеля, поэтому их концентрации в таблице 1 не приводятся. Для соединений свинца в отдельные годы зафиксированы концентрации, значения которых превышают ПДК, как в среднем течении, так и в нижнем ($X_{мин} - X_{макс}$ р. Баксан).

Концентрация соединений марганца в воде рек в среднем течении изменялась от 0,10 до 55,90 мкг/л, в нижнем течении – от 0,10 до 69,35 мкг/л. Максимальное значение концентраций соединений марганца (69,35 мкг/л) наблюдалось в воде реки Малка в нижнем течении. Уровень содержания соединений цинка в среднем течении изменялся от 1,50 до 22,54 мкг/л. В нижнем течении рек концентрации соединений цинка в воде рек изменялись от 1,15 до 55,46 мкг/л. Максимальная концентрация (55,46 мкг/л) была зафиксирована в воде р. Баксан в нижнем течении. Диапазон концентраций соединений свинца в воде исследуемых рек в среднем течении колебался от 0,10 до 12,66 мкг/л. В нижнем течении рек диапазон составил 0,10–11,26 мкг/л, при этом максимальное значение концентрации соединений свинца (12,66 мкг/л) наблюдалось в воде р. Баксан.

Как следует из анализа результатов многолетних данных (табл. 1, рис. 1–2), значения концентраций соединений тяжелых металлов в исследуемых реках в нижнем течении рек значительно выше, чем в среднем. Исключение составляют соединения молибдена в воде реки Баксан – их концентрация уменьшается вниз по течению, что объясняется, вероятно, разбавлением воды р. Баксан крупным притоком (р. Черек).

Максимальные концентрации соединений тяжелых металлов в воде рек Баксан, Малка в основные фазы водного режима разли-

ТАБЛИЦА 1. СРЕДНЕМНОГОЛЕТНИЕ ДАННЫЕ ОБ УРОВНЯХ СОДЕРЖАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОВ (МКГ/Л) В ВОДЕ ИССЛЕДУЕМЫХ РЕК ЗА 2005–2019 ГОДЫ В ЛЕТНЕЕ ПОЛОВОДЬЕ
Table 1. Long-year data on the levels of metal compounds (mcg / l) in the water of the researched rivers for 2005–2019 in summer flood

Ингредиент	Среднее течение			Нижнее течение			ПДК
	X _{ср}	X ₅₀	X _{мин} –X _{макс}	X _{ср}	X ₅₀	X _{мин} –X _{макс}	
река Малка, с. Малка				река Малка, г. Прохладный			
Mo	0,30	0,27	0,1–0,64	1,00	0,66	0,1–4,58	1,0
Mn	7,61	3,69	0,1–47,83	10,80	4,49	0,1–69,35	10,0
Zn	4,35	2,93	1,5–11,21	6,32	2,97	1,15–24,96	10,0
Pb	1,19	0,33	0,1–4,72	3,11	1,75	0,1–11,26	6,0
река Баксан, с. Исламей				река Баксан, г. Прохладный			
Mo	2,59	2,14	0,32–8,30	1,35	0,61	0,1–4,94	1,0
Mn	9,15	3,47	0,1–55,90	10,92	3,67	0,1–58,30	10,0
Zn	6,47	4,43	1,5–22,54	11,57	4,26	1,5–55,46	10,0
Pb	3,31	0,47	0,1–12,66	2,70	0,70	0,1–10,60	6,0

Примечание. Жирным шрифтом выделены средние и максимальные концентрации, превышающие ПДК.

чаются значительно. В зимнюю межень их концентрации меньше в 1,5–2 раза, что можно проследить в таблице 2. Превышение было зафиксировано для соединений молибдена до 8,3 ПДК, марганца до 6,9 ПДК, цинка до 5,5 ПДК и свинца до 2,1 ПДК. Частота превышения ПДК за период 2005–2019 гг. также различна (рис. 3).

Наибольшая частота случаев превышения ПДК по соединениям **Mo** наблюдалась в р. Баксан и составляла 71,4% и 42,9% в среднем и нижнем течении соответственно от общего числа проанализированных образцов. По соединениям **Mn** частота случаев превышения ПДК составила 35,7% (рис. 3). По соединениям **Zn** наибольшая частота случаев превышения ПДК отмечается в р. Баксан, составляя 28,6% и 21,4% в среднем и нижнем течении соответственно. Превышающие значения ПДК по соединениям **Pb** в воде

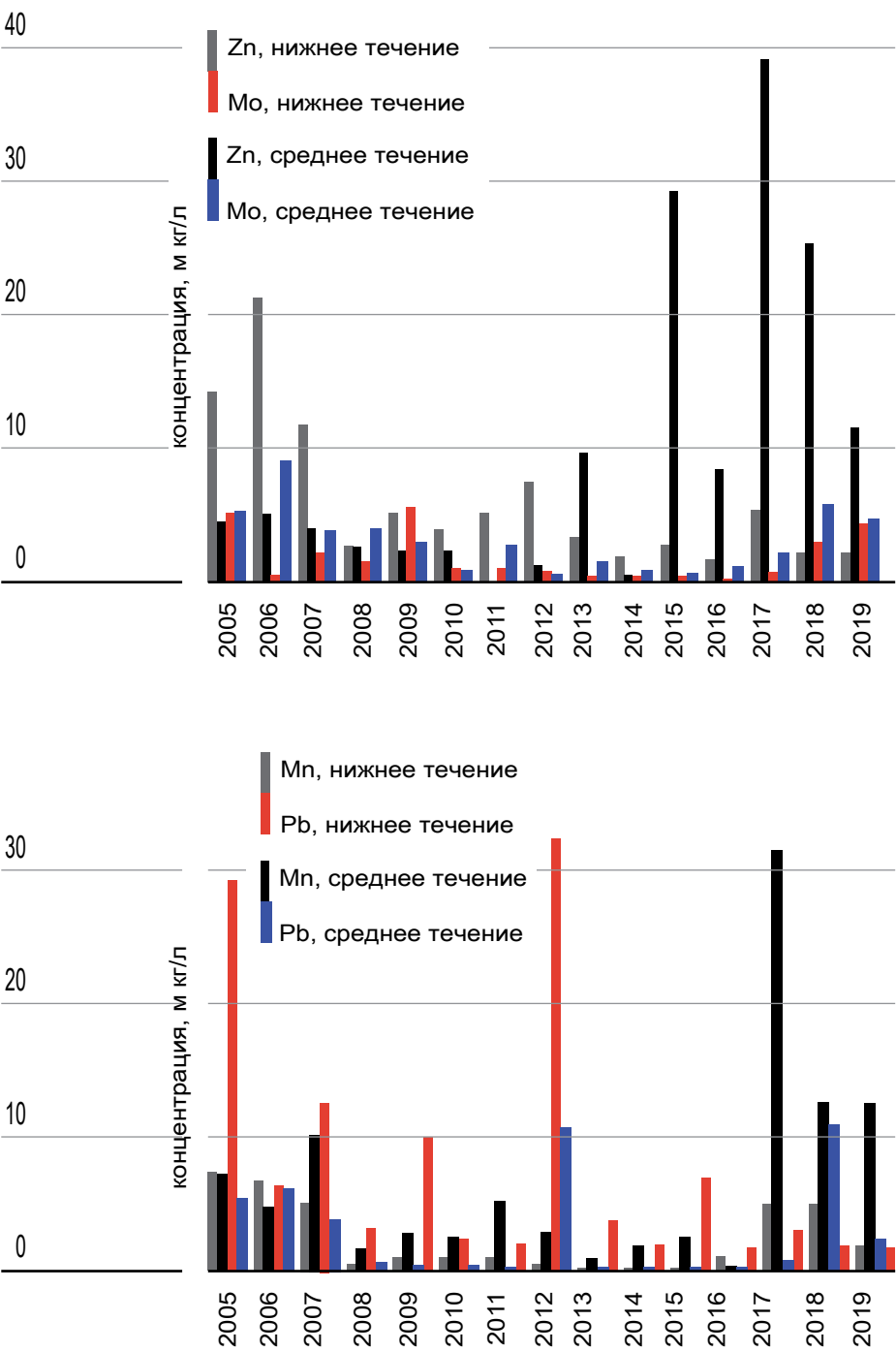


Рис. 1. Концентрация соединений тяжелых металлов в среднем и нижнем течении реки Баксан
Fig. 1. Concentrations of metal compounds in the middle and lower reaches of the Baksan River

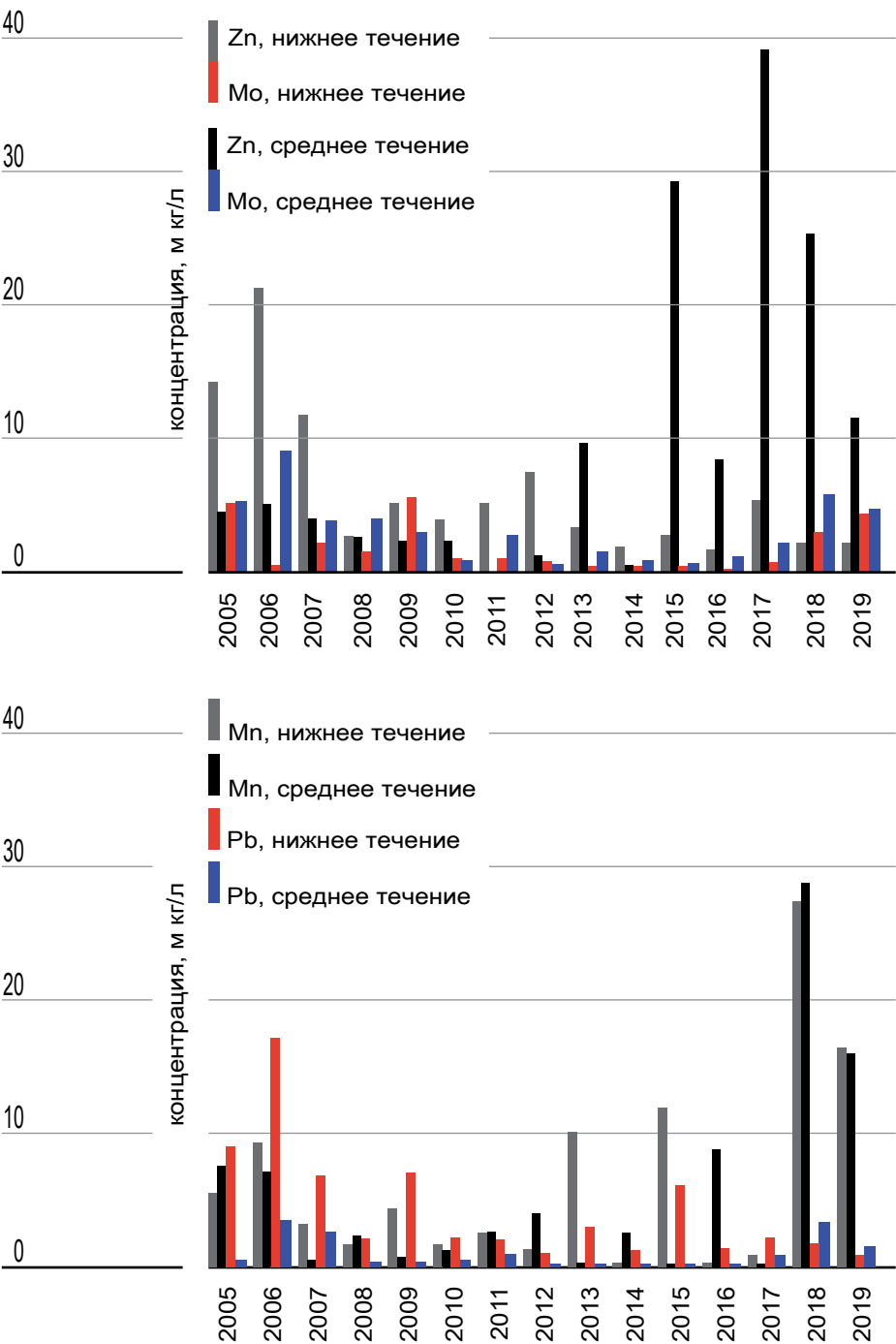


Рис. 2. Концентрация соединений тяжелых металлов в среднем и нижнем течении реки Малка
Fig. 2. Concentrations of metal compounds in the middle and lower reaches of the Malka River

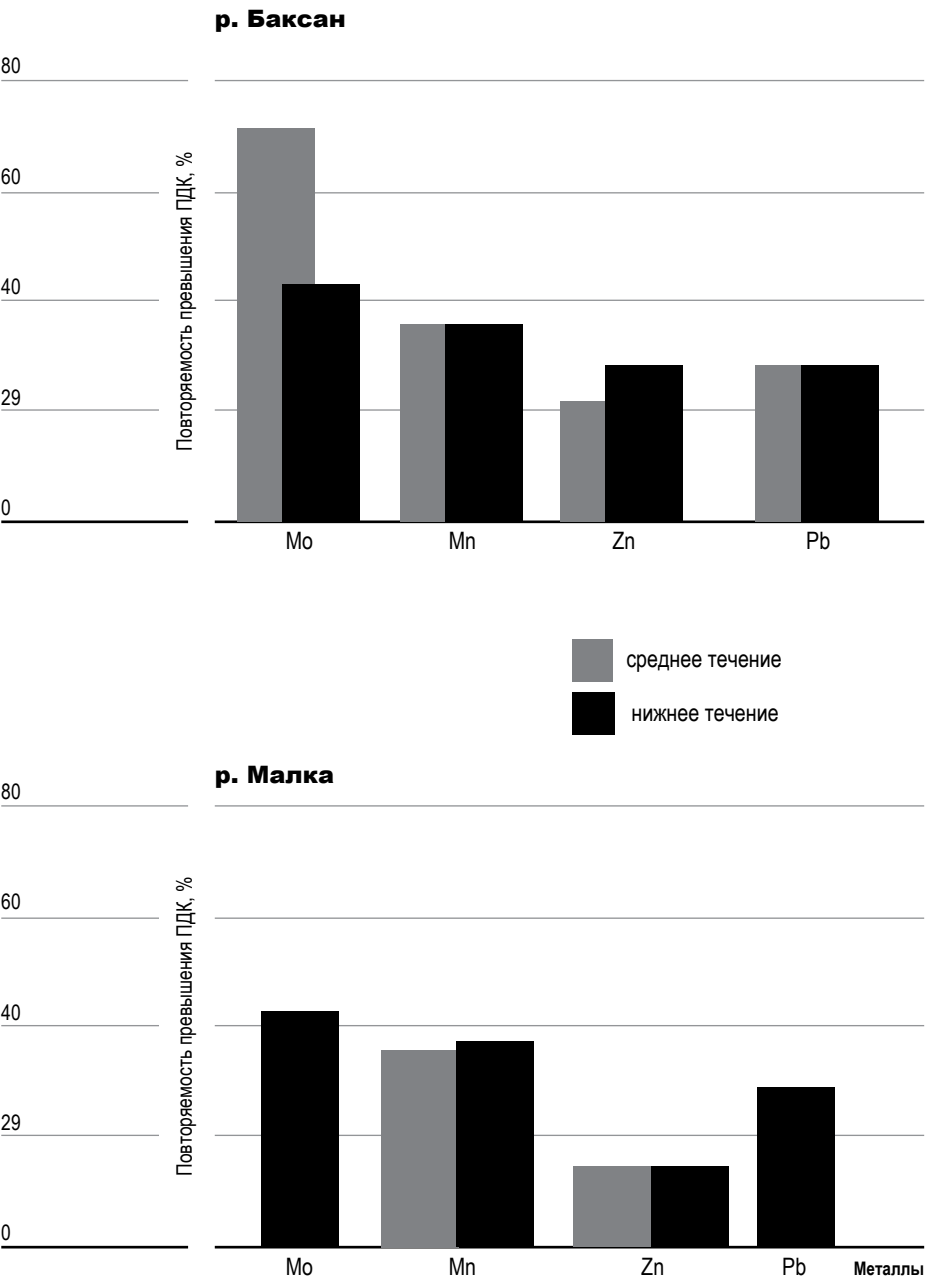


Рис. 3. **Пространственное распределение частоты превышения ПДК соединений растворенных форм тяжелых металлов в воде рек Малка и Баксан.**

Fig. 3. Spatial distribution of the frequency of exceeding the maximum permissible concentration of compounds of dissolved forms of heavy metals in the water of the Malka and Baksan rivers.

Таблица 2.

МАКСИМАЛЬНЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ СОЕДИНЕНИЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ РЕК БАКСАН, МАЛКА В ОСНОВНЫЕ ФАЗЫ ВОДНОГО РЕЖИМА, 2005-2019 ГОДЫ

Table 2. Maximum concentrations of heavy metal compounds in the water of the Baksan, malka rivers during the main phases of the water regime, 2005-2019

Ингредиент	р. Баксан		р. Малка	
	Зимняя межень	Летнее половодье	Зимняя межень	Летнее половодье
Мо, мкг/л	5,06	8,30	3,91	4,58
Mn, мкг/л	24,15	58,30	31,96	69,35
Zn, мкг/л	13,38	55,46	14,16	24,96
Pb, мкг/л	8,57	12,66	6,65	11,26

р. Малка в среднем течении за многолетие не обнаружено. В нижнем течении после впадения притока (р. Баксан) частота случаев превышения ПДК составила 28,6%.

Таким образом, среднее течение реки Баксан характеризуется наибольшим количеством случаев превышения ПДК по соединениям молибдена. Для соединений марганца частота случаев превышения ПДК для исследуемых рек одинакова.

Выводы

Концентрации растворенных форм соединений тяжелых металлов (Мо, Mn, Zn, Pb) в исследованных реках подвержены значительной пространственной и сезонной изменчивости: значения концентраций в нижнем течении рек значительно выше, чем в среднем, за исключением соединений молибдена в воде реки Баксан. Характерно повышенное содержание растворенных форм соединений тяжелых металлов в воде рек в летнее половодье, при переходе рек на грунтовое питание концентрации уменьшаются в 1,5–2 раза. В воде рек Малка и Баксан по многолетним значениям средних концентраций (X_{cp}) и диапазонов колебаний концентраций ($X_{мин}$ –

$X_{\text{макс}}$) не отмечены превышения ПДК по соединениям хрома, кадмия и никеля.

Наблюдаемые максимальные значения концентраций соединений тяжелых металлов в воде рек в летнее половодье, очевидно, объясняется склоновыми процессами смыва рыхлого обломочного материала талыми водами ледников и снега, грунтовыми и поверхностными водами. Эти процессы неконтролируемо формируют уровень содержания соединений тяжелых металлов в среднем и нижнем течении рек.

Библиографический список

1. Будников Г.К. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем // Соросовский образовательный журнал. Биология. 1998. № 5. С. 23-29.
2. Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния / Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 288 с.
3. Никаноров А.М., Жулидов А.В. Биомониторинг тяжелых металлов в пресноводных экосистемах. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 310 с.
4. Перечень нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения Приказ министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552.
5. Ресурсы поверхностных вод суши. Том 8. Северный Кавказ / Под ред. канд. геогр. наук В.В. Куприянова. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 448 с.
6. Ренгартен В.П., Гатуев С.А. Гидрогеологический очерк бассейна р. Терек // Труды геологического института. Л.: Издательство академии наук СССР. 1935. Т. VI. С.5-89.
7. Газаев Х.-М.М., Атабиева Ф.А., Кучменова И.И., Жинжакова Л.З. Особенности формирования химического состава воды ледниковой реки Черек-Безенгийский // Вода: химия и экология. 2016. №3 (93). С. 73-77.
8. ПНД Ф 14.1:2.253-09. Методика выполнения измерений массовых концентраций Al, Ba, Be, V, Fe, Cd, Co, Li, Mn, Cu, Mo, As, Ni, Sn, Pb, Se, Sr, Ti, Cr, Zn в природных и сточных водах методом атомно-абсорбционной спектроскопии

с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией «МГА-915». М., 2009.

9. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики. М.: Финансы и статистика, 2001. 480 с.

References

1. Budnikov G.K. Heavy metals in environmental monitoring of water systems // Soros educational journal. Biology. 1998. No. 5. P. 23-29. (in Russ).
2. Moore J., Ramamurthy S. Heavy metals in natural waters: Control and assessment of impact / Per. from English. M.: Mir, 1987. 288 p. (in Russ).
3. Nikanorov A.M., Zhulidov A.V. Biomonitoring of heavy metals in freshwater ecosystems. L.: Gidrometeoizdat, 1991. 310 p. (in Russ).
4. List of water quality standards for fishery water bodies, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of fishery water bodies Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of December 13, 2016 No. 552. (in Russ).
5. Resources of land surface waters. Volume 8. North Caucasus / Ed. Cand. geogr. Sciences V.V. Kupriyanov. L.: Gidrometeoizdat, 1973. 448 p. (in Russ).
6. Rengarten V.P., Gatuev S.A. Hydrogeological outline of the river basin Terek // Proceedings of the Geological Institute. L.: Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR. 1935. Vol. VI. P. 5-89. (in Russ).
7. Gazaev H.-M.M., Atabieva F.A., Kuchmenova I.I., Zhinzhakova L.Z. Features of the formation of the chemical composition of the water of the glacial river Cherek-Bezengiyskiy // Water: chemistry and ecology. 2016. No. 3 (93). P. 73-77. (in Russ).
8. PND F 14.1: 2.253-09. Methodology for measuring mass concentrations of Al, Ba, Be, V, Fe, Cd, Co, Li, Mn, Cu, Mo, As, Ni, Sn, Pb, Se, Sr, Ti, Cr, Zn in natural and waste waters by the method atomic absorption spectroscopy using an atomic absorption spectrometer with electrothermal atomization "MGA-915". M., 2009. (in Russ).
9. Eliseeva I.I., Yuzbashev M.M. General theory of statistics. M.: Finance and Statistics, 2001. 480 p. (in Russ).

Об авторах

- Атабиева** Фатимат Адраевна, канд. хим. наук, и. о. заведующего лабораторией аналитической химии, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2.
E-mail: atabieva0812@mail.ru.
Тел: +79280841747.
- Чередник** Елена Александровна, научный сотрудник, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2, Researcher ID: AAI-7726-2021.
E-mail: elena.cherednik@mail.ru.
Тел: +79094901967.
- Отарова** Асият Салиховна, младший научный сотрудник, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2.
E-mail: otarova08@mail.ru.
Тел: +79187206180.

About authors

- Atabieva** Fatimat Adraevna, Candidate of Chemical Sciences, Acting Head of the Laboratory of Analytical Chemistry, «High-Mountain Geophysical Institute», 2, Lenina avenue, Nalchik, KBR, Russia, 360030.
E-mail: atabieva0812@mail.ru.
Тел: +79280841747.
- Cherednik** Elena Alexandrovna, Researcher, «High-Mountain Geophysical Institute», 2, Lenina avenue, Nalchik, KBR, Russia, 360030. Researcher ID: AAI-7726-2021.
E-mail: elena.cherednik@mail.ru.
Тел: +79094901967.
- Otarova** Asiyat Salikhovna, Junior Researcher, «High-Mountain Geophysical Institute», 2, Lenina avenue, Nalchik, KBR, Russia, 360030.
E-mail: otarova08@mail.ru.
Тел: +79187206180.

25.00.36
УДК 551.481

ГЕОЭКОЛОГИЯ (ПО ОТРАСЛЯМ)

Казмирук В.Д.

Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия

БАРЬЕРНАЯ РОЛЬ МАКРОФИТОВ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ МИКРОПЛАСТИКОМ

DOI: 10.37493/2308-4758.2021.3.9

Введение.

Повсеместное использование пластмассовых изделий, как для производственных, так и для бытовых нужд, относительная дешевизна, легкость производства и обработки пластмасс, возможность изменять их физические и потребительские свойства, привели к тому, что этот материал стал одним из самых востребованных в жизни современного общества. Вместе с тем, массовое использование синтетических полимерных материалов породило появление нового загрязнителя окружающей среды – пластиковых микрочастиц (микропластика). В работе показано, что заросли высшей водной растительности позволяют локализовать загрязнение водных объектов микропластиком и способствуют его депонированию и захоронению.

Материалы и методы исследований.

Проведены полевые и лабораторные экспериментальные исследования по задержанию микрочастиц из полиэтилена высокой плотности зарослями тростника обыкновенного, рогоза узколистного, манника большого, аира обыкновенного, ириса желтого, осоки острой, роголистника темно-зеленого, рдеста пронзеннолистного, рдеста блестящего, рдеста плавающего, рдеста тонкого, кувшинки чисто-белой, кубышки желтой и чилима.

Результаты исследований

и их обсуждение.

Степень задержания пластиковых микрочастиц макрофитами зависит от материала их происхождения, жесткости, размера, концентрации, а также густоты, морфологических и экологических особенностей растений. Для различных видов макрофитов степень перехвата ими микрочастиц в размерном диапазоне 1–5 мм колеблется в пределах 22–100 %. Полученные результаты согласуются с материалами недавних исследований взаимодействия пластиковых микрочастиц с макрофитами морских акваторий.

Выводы.

Регулирование загрязнения поверхностных вод микрочастицами синтетических полимерных материалов наряду с другими мероприятиями может включать целенаправленное культивирование водных растений, их интродукцию и наращивание биомассы в нужное время, в нужных местах и в необходимых количествах. Такие зоны могут функционировать в автономном режиме без вмешательства человека и капитальных вложений. Для размещения и создания буферных зон из макрофитов можно использовать земли, которые не пригодны для другого применения – бывшие свалки, пустыри, балки, заболоченные места.

Ключевые слова:

микропластик, макрофиты, водные объекты, загрязнение, задержание.

Kazmiruk V.D. Water Problems Institute of Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia

The Barrier Role of Macrophytes in Pollution of Water Bodies with Microplastics

- Introduction.** The widespread use of plastic products, both for industrial and household needs, the relative cheapness, ease of production and processing of plastics, the ability to change their physical and consumer properties, led to the fact that this material has become one of the most popular in the life of modern society. At the same time, the massive use of synthetic polymer materials has given rise to the emergence of a new environmental pollutant – plastic microparticles (microplastics). It has been experimentally established that, aquatic plants make it possible to localize waters pollution by microplastics and contribute to its deposition and burial.
- Materials and methods of research.** Field and laboratory studies was conducted to envestigate the retention rate of high-density polyethylene microparticles by *Phragmites communis* Trin., *Typha angustifolia* L., *Glyceria maxima*, *Acorus calamus* L., *Iris pseudacorus*, *Carex acuta*, *Ceratophyllum demersum* L. *Potamogeton perfoliatus* L., *Potamogeton lucens* L., *Potamogeton natans*, *P. heterophyllus* × *P. Perfoliatus*, *Nymphaea candida*, *Nuphar lutea* (L.) Smith, and *Trapa natans*.
- Results and Discussion.** It has been experimentally established that, the retention rate of plastic microparticles by macrophytes depends on the material of their origin, particle hardness, size, concentration, as well as density, morphological and ecological characteristics of plants. For various species of macrophytes, the retention rate of microparticles in the size range of 1–5 mm ranges from 22 to 100 %. The obtained results showed a good agreement with the materials of recent studies on the interaction between plastic microparticles with macrophytes of marine regions.
- Conclusion.** The regulation of surface water pollution by microparticles of synthetic polymeric materials, along with other measures, can include targeted cultivation of aquatic plants, their introduction and biomass growth at the right time, in the right places and in the required quantities. Such zones can function autonomously without human intervention and capital investments. For the placement and creation of buffer zones with macrophytes, it is possible to use lands that are not suitable for other uses – former landfills, wastelands, small dry valleys, wetlands.
- Key words:** microplastics, macrophytes, water bodies, pollution, retention.

Введение

Массовое производство и повсеместное использование синтетических полимерных материалов, благодаря их дешевизне и высоким потребительским качествам, в настоящее время

породили нарастающую проблему загрязнения окружающей среды стойкими к деградации пластиковыми отходами, которые стали наиболее обычными, разнообразными и широко распространенными. Микрочастицы синтетических полимерных материалов (микропластик) сейчас обнаружены во всех природных средах – почвах, воде, воздухе, живых организмах.

Водные потоки являются основными путями переноса пластиковых микрочастиц, как со сточными водами, так и при смыве с поверхности загрязненных территорий. Кроме того, водотоки разных уровней выполняют роль транспортных коридоров при переносе микрочастиц на большие расстояния, а водоемы являются приемниками и накопителями этих микрочастиц.

Поскольку деградация и биоразложение пластиковых микрочастиц может длиться тысячи лет, их количество растет, а сбор и утилизация являются не реальной задачей, для минимизации вреда, приносимого микропластиком живым организмам пресноводных экосистем и снижения вероятности транспорта микропластика в морские экосистемы, автором впервые в мировой научной практике было предложено использовать барьерную роль макрофитов. Прибрежные макрофиты, благодаря своим свойствам, позволяют задержать и захоронить в донных отложениях пластиковые микрочастицы, поступающие со стороны берега, а также быть ловушкой для микропластиков, плавающих на поверхности и в водной толще открытой части водоемов и водотоков.

Материалы и методы исследований

Нами изучалось поведение пластиковых микрочастиц во время натурных экспериментов в прибрежной зоне Иваньковского водохранилища и его притоков, а также в лабораторных условиях. Характеристики исследуемых частиц приведены в табл. В экспериментах использовались растущие (на разных стадиях развития) и отмершие растения при их различном расположении. В натурных экспериментах определенное количество пластиковых микрочастиц различной формы, состава и размера помещалось в прибрежной зоне на расстоянии 1 м от уреза воды с целью их естественного смыва во время дождей или сдува ветром в водный объект

Таблица.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИССЛЕДОВАННЫХ ПЛАСТИКОВЫХ
МИКРОЧАСТИЦ
Table. The characteristics of microplastic particles used in this study

Базовый полимер	Вид, форма частиц	Средний размер, мм	Плотность, г/см³	Средний вес, мг
Полиэтилен высокой плотности	Микропленки в форме полосок и квадратов, фрагменты нерегулярной формы	1,0; 2,0; 4,5	0,89–0,97	1,1
Пенополистирол	Микросферы	1,0; 3,0; 4,5	0,01–0,04	0,4

на участках шириной 1 м с прибрежной растительностью и без нее. Подсчитывалось количество частиц микропластика, находящихся на каждом метре от уреза воды и их положение: плавают на поверхности воды, опустились на дно или прикрепилась к растениям. Периодичность измерений зависела от особенностей участка и погодных условий и колебалась от ежедневных до одного раза в неделю.

Проводились эксперименты для 14 видов высшей водной растительности (ВВР): воздушно-водной, погруженной и с плавающими по поверхности воды листьями при проективном покрытии растений 50 и 100 % как мере их густоты.

Перечень исследованных растений приведен на рисунке. Концентрация микрочастиц на единице экспериментального участка составляла 50, 500, 1000, 3000 и 6000 шт./м². Концентрация микрочастиц 500 шт./м² была принята как основная и наиболее вероятная, поскольку является верхним пределом обнаруживаемого в настоящее время уровня загрязнения микропластиком наиболее загрязненных континентальных водных объектов (например, водохранилище Данцзянкоу (Китай) [Di et al., 2019]) и соизмерима с концентрациями, используемыми в лабораторных исследованиях, при которых наблюдается негативное воздействие микропластика на биологические объекты [Казмирук, 2020]. Пластиковые микрочастицы, которые прикреплялись к растениям, считались задержанными, а общий уровень задержания микрочастиц определялся как

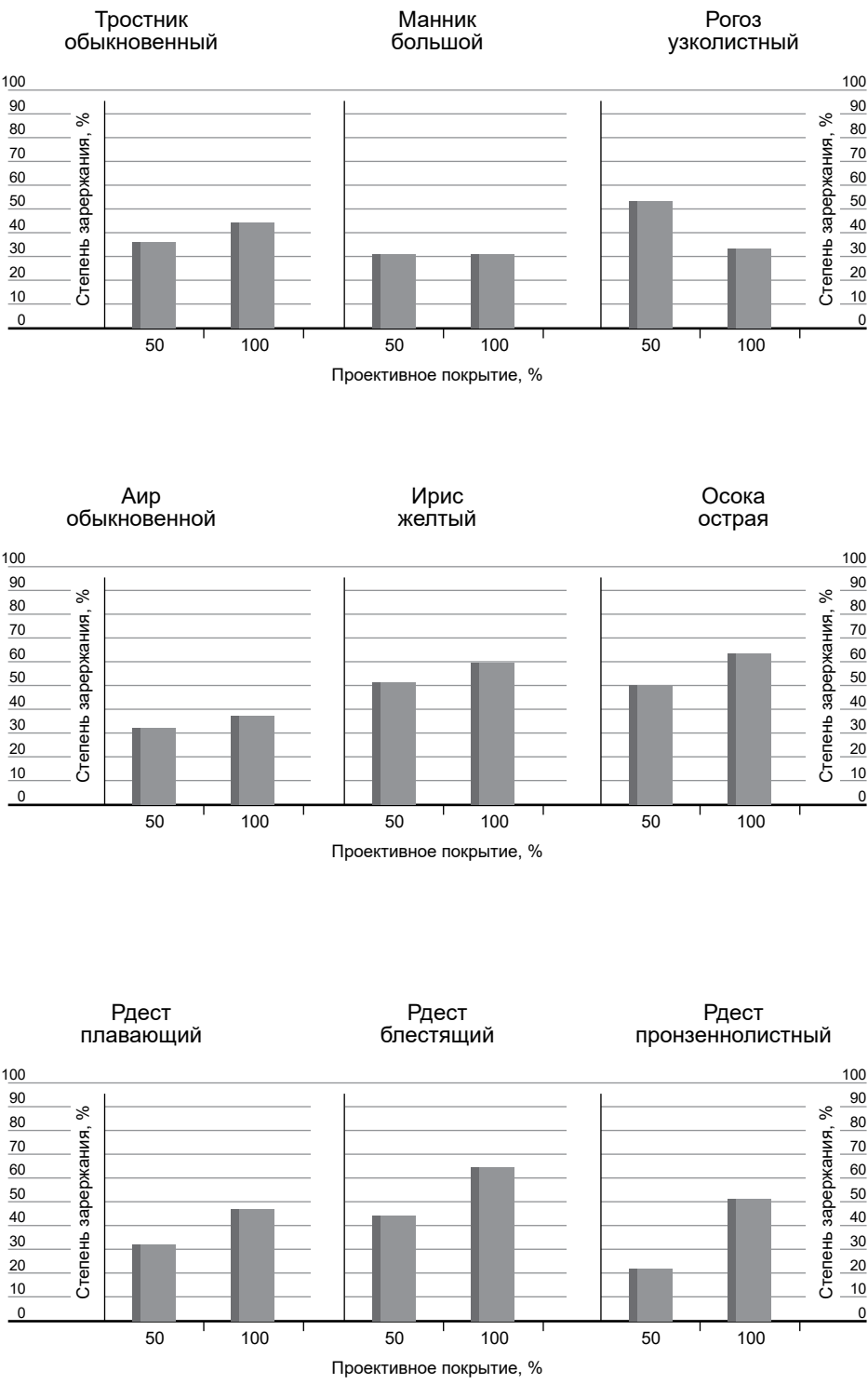
отношение прикрепленных к растениям микрочастиц к их общему количеству, выраженное в процентах. Каждый эксперимент повторялся 5–14 раз.

Результаты исследований и их обсуждение

Среди множества механизмов влияния на поведение и задержание пластиковых микрочастиц макрофитами, морфологические особенности последних и густота их произрастания имеют первостепенное значение. Степень перехвата макрофитами плавающих пластиковых микрочастиц колеблется в пределах от 22 % (рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus* L.)) до 76 % (роголистник темно-зеленый (*Ceratophyllum demersum* L.)) при проективном покрытии растительностью акватории 50 % и от 31 % (манник большой (*Glyceria maxima*)) до 100 % (кувшинка чисто-белая (*Nymphaea candida*), кубышка желтая (*Nuphar lutea* (L.) Smith), чилим (*Trapa natans*)) при проективном покрытии 100 % (рис.).

Не менее важным фактором являются особенности экологии ВВР. Так рдест пронзеннолистный, хотя и имеет пространственную структуру близкую к роголистнику и оба вида являются погруженными, но при том же проективном покрытии верхушки растений рдеста значительно реже доходят до поверхности воды, чем растения роголистника. Кроме того, растения рдеста и его листья практически никогда не переплетаются, чего нельзя сказать о роголистнике, листья которого дихотомически разветвлённые и образуют плотную сетчатую структуру.

Дополнительным фактором является и то, что роголистник обычно произрастает в слабопроточных застойных зонах, слабый водообмен в которых также способствует задержанию пластиковых микрочастиц. Растения же рдеста пронзеннолистного могут выдерживать значительные механические нагрузки, этот вид встречается на участках существенного воздействия ветровых и судовых волн. Другие виды исследованной погруженной растительности при проективном покрытии 50 % демонстрируют близкий уровень задержания пластиковых микрочастиц – 27–44 %, а существующий разброс также легко объясним особенностями морфологии и экологии видов: редкое расположение, погру-



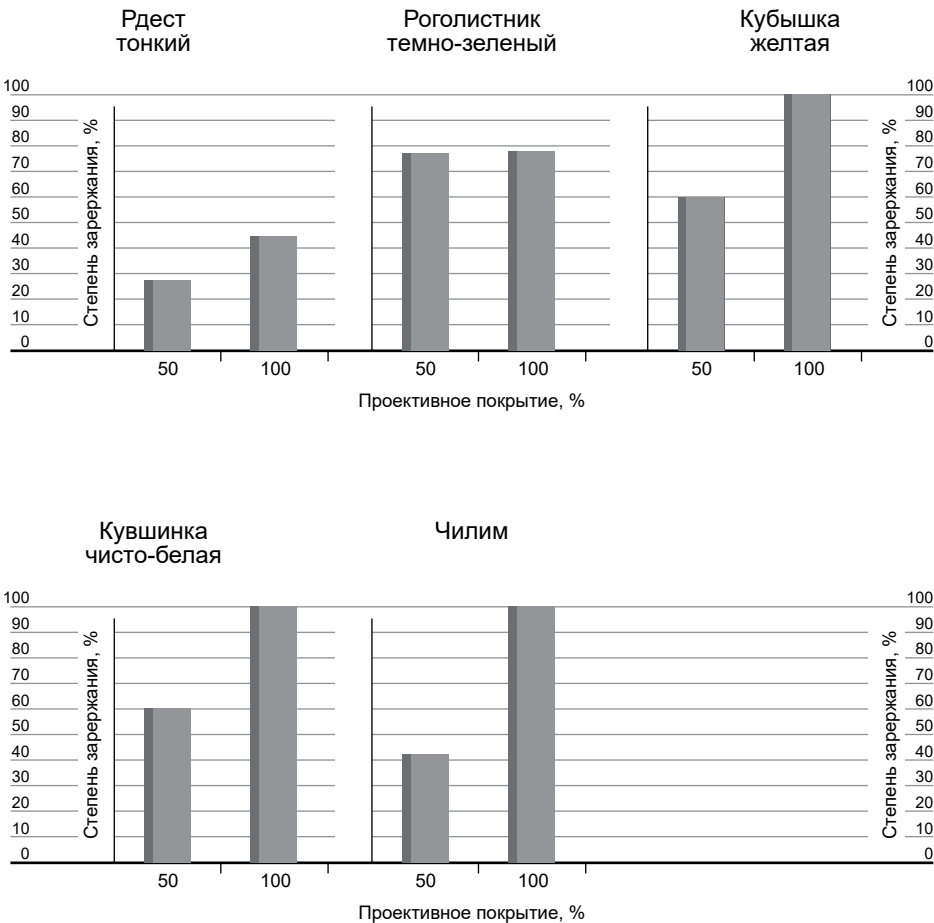


Рис. Средняя величина степени задержания 1 м² зарослей ВВР микропленок размером 4,5 мм из полиэтилена высокой плотности при их концентрации 500 шт./м².
Fig. The average value of a retention rate of high-density polyethylene microparticles (films) 4.5 mm in size at a concentration of 500 items m⁻² by 1 m² of thickets of different species of higher aquatic plants.

женных в воду, тонких листьев (рдест тонкий (*P. heterophyllus* × *P. Perfoliatus*)) и длинное (до 7 м на Нижней Волге) растение со многими широкими и длинными листьями (до 20 см), значительная часть которого плавает на поверхности воды (рдест блестящий (*Potamogeton lucens* L.)).

Воздушно-водная растительность с проективным покрытием зарослей 50% в целом имеет более высокую степень задержания пластиковых микрочастиц 31–53%, чем погруженная, причем из 6 исследованных видов, 3 тяготеют к нижнему пределу (манник большой, аир обыкновенный (*Acorus calamus* L.), тростник обыкновенный (*Phragmites communis* Trin.)), а 3 других – к верхнему (осока острая (*Carex acuta*), ирис желтый (*Iris pseudacorus*), рогоз узколистный (*Typha angustifolia* L.)).

Первая группа имеет аналогичную структуру стеблей и близкую их толщину: круглое сечение диаметром 4–8 мм для тростника и эллипсовидное сечение 4×8 и 6×15 мм соответственно для манника и аира. Растения второй группы, при том же проективном покрытии акватории, или имеют толстые эллипсовидного сечения стебли со средним размером 20×35 и 20×40 мм соответственно для рогоза и ириса, или большое количество отдельных тонких листьев, как осока (поперечное сечение 2×5 мм), чем создают аналогичные условия для задержания пластиковых микрочастиц. Дополнительным фактором задержания микрочастиц осокой является специфическая поверхность растений со множеством острых выступов, на которых зацепляются и удерживаются микрочастицы. Необходимо также отметить, что воздушно-водная растительность интенсивно гасит движение воздушных масс и их воздействие на поверхность воды, в результате чего микросферы из пенополистирола не перекачиваются по ее поверхности, а имеют нейтральную плавучесть, как и плавающие микрочастицы другой формы.

Еще больше задерживают плавающие пластиковые микрочастицы растения с плавающими на поверхности воды листьями (42–60% при проективном покрытии 50%), что также связано с их морфологией и экологическими особенностями – произрастание в местах со слабым водообменом. В условиях Иваньковского водохранилища листья кубышки желтой имеют средний диаметр око-

ло 10 см или эллипсовидную форму 8×11 см. Несколько меньшая степень задержания микропленок чилимом объясняется строением, плавающей на поверхности воды, розетки, имеющей не сплошную структуры, как листья кувшинки и кубышки, а представляющей собой вздутые черенки, на которых располагаются ромбовидные листья длиной 2–3 см. При этом диаметр розетки и соответственно промежутки между листьями (пространство свободной поверхности воды) могут быть существенно больше, чем сплошные плавающие листья кувшинки и кубышки.

В условиях Иваньковского водохранилища диаметр розетки чилима изменяется в пределах 12–24 см, а по данным более ранних исследований автора, на Нижней Волге он может достигать 45 см [Казмирук, Казмирук, Бреховских, 2004]. Следует отметить, что по результатам наших опытов на р. Донховке – одном из притоков Иваньковского водохранилища, задержание легких и подвижных микрочастиц пенополистирола диаметром 4,5 мм на листьях кувшинки чисто-белой происходит при средней скорости поверхностного стокового течения до 6 см/с, хотя степень задержания микрочастиц в этом случае составляет всего 10 % при таком же проективном покрытии растений около 10 %. По-видимому, такая постоянная скорость течения воды является верхним пределом для произрастания этого вида.

Нет прямой зависимости между густотой растений одних и тех же видов и степенью задержания пластиковых микрочастиц. Если при проективном покрытии 50 % наибольший разброс этого показателя был характерен для погруженной растительности, то при проективном покрытии 100 % минимальные значения наблюдаются для многих видов воздушно-водной растительности: манник большой (31 %), рогоз узколистный (33 %), аир обыкновенный (36 %), то есть для упомянутых видов при двукратном увеличении проективного покрытия, только у аира на 16 % увеличилась степень задержания пластиковых микрочастиц. Для манника эта величина не изменилась, а для рогоза даже уменьшилась.

В последнем случае, при увеличении густоты зарослей рогоза, растения, имеющие массивные стебли, произрастают отдельными небольшими группками, не изменяя общее проективное покрытие,

но создавая более широкое свободное пространство в нижней части стеблей с более высоким водообменом, где свободно перемещаются пластиковые микрочастицы. Для других видов воздушно-водной ВВР, хотя абсолютные величины степени задержания пластиковых микрочастиц значительно выше (44–62 %), относительные величины этого показателя возросли не на много (16–26 %). Проявление эффекта увеличения густоты растительности с пропорциональным увеличением степени задержания плавающих микрочастиц наиболее отчетливо проявляется в зарослях осоки, имеющей тонкие листья, равномерно рассекающие поток воды или воздуха, переносящий микрочастицы.

Растения с плавающими по поверхности воды листьями при проективном покрытии 100 % задерживают все микрочастицы, плавающие в пределах зоны их произрастания. При таком же проективном покрытии погруженная ВВР в своей массе занимает промежуточное положение по степени задержания пластиковых микрочастиц между воздушно-водной и растительностью с плавающими по поверхности воды листьями. Кроме роголистника, у которого, благодаря его морфологическим и экологическим особенностям, степень задержания микрочастиц была самой высокой среди всех исследованных видов ВВР при проективном покрытии 50 %, для других погруженных видов, с увеличением их густоты, степень задержания микрочастиц выросла на 45–131 %, что в несколько раз выше, чем для воздушно-водной ВВР. Роголистник одинаково задерживал микрочастицы при сплошном зарастании и в более редких зарослях, оставаясь при этом самым эффективным улавливателем микрочастиц среди погруженной ВВР.

Рдесты, плавающий (*Potamogeton natans*) и блестящий, имеют похожую пространственную структуру, при увеличении их густоты аналогично увеличили степень задержания пластиковых микрочастиц на 48 и 45 % соответственно. При этом рдест блестящий по эффективности задержания микрочастиц (64 %) приблизился к роголистнику (76 %). Больше всего, среди погруженной ВВР, при увеличении густоты зарослей возросла эффективность задержания пластиковых микрочастиц у рдеста пронзеннолистного (в 2,3 раза). По-видимому, это связано с выходом на поверхность воды большего количества растений.

А вот рдест тонкий, хотя и увеличил степень задержания микрочастиц на 63 % при сгущении зарослей, остался наименее эффективным барьером для задержания пластиковых микрочастиц среды погруженной ВВР – на уровне тростника с таким же проективным покрытием. Оба упомянутые вида рдестов (пронзеннолистный и тонкий) при проективном покрытии 100 % имеют примерно одинаковое расстояние между растениями – около 5 см.

Уменьшение среднего размера микропленок из того же материала (полиэтилен высокой плотности) с 4,5 до 1,0 мм привело к снижению задержания пластиковых микрочастиц роголистником на 42 и 12 % соответственно для проективного покрытия 50 и 100 %. Скорее всего, более мелкие частицы свободнее проходят через решетчатую структуру из стеблей и листьев роголистника. Опыты по влиянию размера пластиковых микрочастиц на степень их задержания ВВР проводились только для этого вида.

На барьерную роль ВВР по задержанию плавающих пластиковых микрочастиц также влияет их концентрация на поверхности воды в пределах зарослей. Детальные исследования проводились для тростника обыкновенного. Концентрация микропленок со средним размером 4,5 мм изменялась в пределах 50–6000 шт./м². Для обоих исследованных проективных покрытий ВВР график изменения степени задержания микрочастиц тростником от их концентрации имеет S-образную форму.

Сперва, с увеличением концентрации пластиковых микрочастиц, увеличивается и степень их задержания тростником, но примерно при концентрации 700–800 шт./м² происходит изменение направленности процесса – относительно большее количество пластиковых микрочастиц начинает беспрепятственно проходить сквозь заросли ВВР. При концентрации пластиковых микрочастиц 3000 шт./м² задерживаются только 17 и 26 % соответственно для 50 и 100 % проективного покрытия зарослей тростника. При дальнейшем увеличении концентрации пластиковых микрочастиц происходит их слипание, запруживание узких мест между растениями, возникают цепочки прикрепившихся друг к другу микропленок. Это приводит к повторному увеличению степени задержания микрочастиц тростником и при концентрации 6000 шт./м² она составляет 41 и

57% соответственно при проективном покрытии 50 и 100%, что на 14 и 29% выше, чем степень задержания при базовой исследованной концентрации 500 шт./м². Однако, не для всех макрофитов увеличение концентрации микрочастиц на порядок приводит к увеличению степени их задержания. Для манника большого эта величина осталась на том же уровне, а для осоки даже наблюдалось относительное снижение.

Поведение пластиковых микрочастиц в водной среде, связанное с материалом их происхождения (не обязательно материалом полимерной матрицы), формой, степенью жесткости, также сказывается на их способности задерживаться зарослями ВВР. Проведенные нами эксперименты с микрофрагментами из полиэтилена высокой плотности показали разную степень задержания, как более высокую, так и более низкую, по сравнению с микропленками из того же полимерного материала и такого же размера. Для исследованных видов ВВР (ирис желтый, рдест тонкий, роголистник темно-зеленый) при проективном покрытии 50% степень задержания микрофрагментов имеет близкие значения (41–51%). Как и для микропленок, наиболее слабым барьером является рдест тонкий, что вполне объяснимо его морфологическими особенностями, хотя он и задерживает микрофрагменты в полтора раза интенсивнее, чем микропленки. Несколько лучше (49%) пластиковые микрофрагменты задерживаются в близком к рдесту по морфологии роголистнике, однако это значительно меньше, чем для микропленок (76%). Ирис же при проективном покрытии 50% демонстрирует одинаковую степень задержания микрочастиц в виде фрагментов и пленок, чего нельзя сказать при его густоте 100%. При этой густоте проявляется эффект формирования микропроранов с повышенным водообменом, куда устремляются плавающие микрочастицы, как это имело место в густых зарослях рогоза узколистного. Как результат, степень задержания микрофрагментов в густых зарослях ириса ниже, чем в более редких с проективным покрытием 50%. Этот эффект не проявил себя при исследовании задержания этим видом микропленок.

По-видимому, повлияла разная степень адгезии поверхностей микрофрагментов и микропленок к поверхности стеблей ириса. Два

других, исследованных вида ВВР, при увеличении их густоты, пропорционально увеличивали степень задержания пластиковых микрофрагментов на 29 и 18 % соответственно для рдеста тонкого и роголистника темно-зеленого.

При уменьшении среднего размера пластиковых микрофрагментов до 1,0 мм, также, как и для микропленок происходит пропорциональное снижение степени задержания микрочастиц исследованными зарослями роголистника в равной степени на 5 % по абсолютной величине при проективном покрытии 50 и 100 %. Для исследованного рдеста тонкого эта величина практически не изменилась, хотя и несколько уменьшилась.

Полученные нами данные о перехвате ВВР пластиковых микрочастиц сопоставимы с данными работы [Horvath, 2004], который исследовал задержание макрофитами фрагментов листьев дуба и проводил натурные эксперименты, моделируя эти фрагменты кусочками бумаги диаметром 6 мм. В русле водотока присутствовали заросли незабудки болотной (*Myosotis palustris* (L.) L.), сердечника (*Cardamine* sp.) и ежеголовника прямого (*Sparganium erectum* L. (*S. ramosum* Huds.)), тогда как прибрежная растительность была представлена таволгой вязолистной (*Filipendula ulmaria* L.), ситником развесистым (*Juncus effusus* L.) и другими ситниковыми, произрастающими по обеим берегам. Был получен уровень перехвата микрочастиц 28–100 %.

Косвенным подтверждением эффективности задержания микропластика ВВР могут быть недавно опубликованные данные о нахождении пластиковых микрочастиц на 94 % отобранных растений взморника (*Zostera marina*) в Шотландии [Jones et al., 2020]. Для этого же вида в лабораторных условиях было получено, что при скоростях движения воды менее 12 см/с, 40–90 % предпроизводственных микрогранул из полипропилена, полиэтилентерефталата, полистирола и полиамида или не движутся, или задерживаются растениями [De los Santos, Krång, Infantes, 2021]. Сопоставимые данные получены для зарастающих зон Балтийского моря. Придонная вода в этих зонах на два порядка содержит больше пластиковых микрочастиц с размерным диапазоном 0,2–5 мм, чем зоны, где растительность отсутствует [Esiukova et al., 2021].

Поскольку ВВР имеет сезонную динамику, эффективность задержания ею плавающих пластиковых микрочастиц также будет меняться. Среди исследованных видов первыми исчезают с поверхности воды верхушки погруженных макрофитов. На водоемах средней полосы России это происходит в конце августа – начале сентября. Так рдест пронзеннолистный, после отмирания фрагментируется и теряет целостность листьев и верхней части стеблей за 5–6 дней. В таком же состоянии рдест тонкий на 10–11 сутки погружается в воду и постепенно опускается на дно.

Этого времени достаточно, чтобы, прикрепленные к растениям, микропленки из полиэтилена высокой плотности также опустились на дно вместе с растениями или самостоятельно. В лабораторных опытах с микропленками со средним размером 4,5 мм, через 65 часов более 10% микрочастиц становятся прикрепленными к воздушно-водным растениям в толще воды, что составляет примерно половину погружившихся микрочастиц. Для роголистника темно-зеленого, при среднем размере микропленок около 1 мм, уже через 15–16 часов 2/3 микрочастиц оказываются прикрепленным к растениям в толще воды.

Воздушно-водная растительность более длительное время выполняет прямую барьерную функцию, которая при ее отмирании на некоторое время даже может возрасти, поскольку листья большинства видов этих растений (кроме тростника) опускаются на поверхность воды, увеличивая площадь акватории, покрытую ими. Кроме того, увеличивается степень адгезии микрочастиц к листьям и стеблям, подверженным деградации. Заросли же тростника в том или ином виде сохраняются круглый год. В местах контакта растений с переменным уровнем воды, при динамическом воздействии ветровых и судовых волн листья тростника деградируют быстрее и исчезают совсем, еще в период вегетации.

Однако, некоторое уменьшение густоты зарослей в результате потери листьев и возможное снижение степени задержания пластиковых микрочастиц, компенсируется повышением шероховатости, состарившихся к этому времени, стеблей, таким образом, окончание вегетационного периода тростника заметным образом не влияет на его барьерную роль.

Выводы

Способность макрофитов и фрагментов уже погибших наземных частей растений задерживать и накапливать пластиковые микрочастицы, особенно в прибрежных зонах водных объектов, имеет важное водоохранное значение. Для водных объектов, расположенных на урбанизированных территориях, буферные зоны из ВВР позволяют избежать или значительно снизить воздействие на водные экосистемы постоянных потоков пластиковых микрочастиц и связанных с ними загрязняющих веществ, поступающих с талыми, ливневыми и мочечными стоками с городских территорий, авто- и железных дорог, территорий аэропортов, промышленных зон, полигонов ТБО, стихийных свалок. Если водные объекты имеют значительные размеры, буферные зоны дают возможность осуществлять комплексную защиту реки или озера в местах расположения населенных пунктов и различных производств.

Эксперименты для 14 видов ВВР: воздушно-водной, погруженной и с плавающими по поверхности воды листьями при проективном покрытии растений 50 и 100 % показали, что для плавающих микрочастиц в виде микропленок и микрофрагментов из полиэтилена высокой плотности, которые часто составляют более 50 % обнаруживаемых в водных объектах микрочастиц, степень перехвата макрофитами колеблется в пределах от 22 до 76 % при проективном покрытии растительностью акватории 50 % и от 31 до 100 % при проективном покрытии 100 %.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы № 0147–2019–0002 (№ государственной регистрации АААА-А18–118022090104–8) Государственного задания ИВП РАН.

Библиографический список

1. Di M., Liu L., Wang W., Wang J. Manuscript prepared for submission to environmental toxicology and pharmacology pollution in drinking water source areas: Microplastics in the Danjiangkou Reservoir, China // Environ. Toxicol. Pharmacol. 2019.

Vol. 65. P. 82–89.

2. Казмирук В.Д. Микропластик в окружающей среде: Нарастающая проблема планетарного масштаба. М.: URSS, 2020. 432 с.
3. Казмирук В.Д., Казмирук Т.Н., Бреховских В.Ф. Зарастающие водотоки и водоемы: Динамические процессы формирования донных отложений. М.: Наука, 2004. 310 с.
4. Horvath T.G. Retention of particulate matter by macrophytes in a first-order stream // *Aquat. Bot.* 2004. Vol. 78. No 1. P. 27–36.
5. Jones K.L., Hartl M.G.J., Bell M.C., Capper A. Microplastic accumulation in a *Zostera marina* L. bed at Deerness Sound, Orkney, Scotland // *Mar. Pollut. Bull.* 2020. Vol. 152. 110883.
6. De los Santos C.B., Krång A.-S., Infantes E. Microplastic retention by marine vegetated canopies: Simulations with sea-grass meadows in a hydraulic flume // *Environ. Pollut.* 2021. Vol. 269. 116050
7. Esiukova E.E., Lobchuk O.I., Volodina A.A., Chubarenko I.P. Marine macrophytes retain microplastics // *Mar. Pollut. Bull.* 2021. Vol. 171. 112738.

References

1. Di M., Liu L., Wang W., Wang J. Manuscript prepared for submission to environmental toxicology and pharmacology pollution in drinking water source areas: Microplastics in the Danjiangkou Reservoir, China // *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 2019. Vol. 65. P. 82–89.
2. Kazmiruk V.D. Microplastics in the environment: A growing global scale challenge. М.: URSS, 2020. 432 p. (In Russ.)
3. Kazmiruk V.D., Kazmiruk T.N., Brekhovskikh V.F. Overgrown Streams and Reservoirs: Dynamic Processes of Formation of Bottom Sediments, М.: Nauka Press, 2004. 310 p. (In Russ.)
4. Horvath T.G. Retention of particulate matter by macrophytes in a first-order stream // *Aquat. Bot.* 2004. Vol. 78. No 1. P. 27–36.
5. Jones K.L., Hartl M.G.J., Bell M.C., Capper A. Microplastic accumulation in a *Zostera marina* L. bed at Deerness Sound, Orkney, Scotland // *Mar. Pollut. Bull.* 2020. Vol. 152. 110883.
6. de los Santos C.B., Krång A.-S., Infantes E. Microplastic retention by marine vegetated canopies: Simulations with sea-grass meadows in a hydraulic flume // *Environ. Pollut.* 2021. Vol. 269. 116050.
7. Esiukova E.E., Lobchuk O.I., Volodina A.A., Chubarenko I.P.

Marine macrophytes retain microplastics // Mar. Pollut. Bull.
2021. Vol. 171. 112738.

Поступило в редакцию 25.08.2021,
принята к публикации 01.09.2021.

Об авторах

Казмирук Василий Данилович, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Институт водных проблем Российской академии наук, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3, Researcher ID P-3332-2014
E-mail: kazm@iwp.ru, Телефон: +7-910-938-26-66

About the authors

Kazmiruk Vasily Danilovich, PhD (Geogr.), Senior Research Scientist, Water Problems Institute of Russian Academy of Sciences, ul. Gubkina 3, Moscow, 119333, Researcher ID P-3332-2014
E-mail: kazm@iwp.ru. Phone: +7-910-938-26-66



НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал
Северо-Кавказского федерального
университета



Издательство Северо-Кавказского федерального
университета. г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1.

Корректор – М.И. Толмачев.
Компьютерная версия – О.Г. Полевич.

Подписано в печать 20.09.2021 г. Выход в свет 27.09.2021 г.
Формат 70 × 108 1/16. Гарнитура Times New Roman. Бумага
офсетная. Усл. печ. л. 13,12. Тираж 1000 экз. Цена 534 руб.

Отпечатано в Издательско-полиграфическом комплексе
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет».
355029, г. Ставрополь, пр-т Кулакова, 2.