

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

---

# НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

---

Научный журнал  
Северо-Кавказского федерального  
университета

---

ISSN 2308–4758



---

**Выпуск № 2, 2020 г.**

---

Выходит 4 раза в год

**«Наука. Инновации. Технологии»  
Научный журнал Северо-Кавказского  
федерального университета**

<b>Учредитель</b>	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»
<b>Главный редактор</b>	д-р геогр. наук, профессор В. С. Белозеров
<b>Редакционная коллегия</b>	М.Т. Абшаев, д-р физ.-мат. наук, профессор (Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик); А.А. Лиховид, д-р геогр. наук, профессор; В.С. Белозеров, д-р геогр. наук, профессор (главный редактор); Т.П. Бондарь, д-р мед. наук, профессор; В.Б. Бородулин, д-р мед. наук, профессор (Саратовский ГМУ Росздздрава, г. Саратов); О.А. Бутова, д-р мед. наук, профессор; Т.И. Герасименко, д-р геогр. наук, профессор (Оренбургский гос. университет, г. Оренбург); В.А. Гридин, д-р геол.-минерал. наук, профессор; Л.И. Губарева, д-р биол. наук, профессор; Т.И. Джандарова, д-р биол. наук, доцент; Ю.И. Диканский, д-р физ.-мат. наук, профессор; Л.А. Диневич, д-р физ.-мат. наук, профессор (Тель-Авивский университет, г. Тель-Авив); К.В. Ерин, д-р физ.-мат. наук, профессор; А.И. Жакин, д-р физ.-мат. наук, профессор (Юго-Западный гос. университет, г. Курск); А.Р. Закинян, канд. физ.-мат. наук, доцент; А.О. Иванов, д-р физ.-мат. наук, профессор (Уральский федеральный университет им. Б. Ельцина); А.А. Коляда, д-р физ.-мат. наук, доцент (Белорусский гос. университет, г. Минск); С.А. Куникин канд. физ.-мат. наук, доцент; А.Д. Лодыгин, д-р техн. наук, доцент; А.В. Лысенко, д-р геогр. наук, доцент; И.Н. Молодикова, канд. геогр. наук (Центрально-Европейский университет, г. Будапешт); В.И. Наац, д-р физ.-мат. наук, профессор; Т.Г. Нефедова, д-р геогр. наук, вед. науч. сотрудник РАН (ИГ РАН, г. Москва); П.М. Полян, д-р геогр. наук, вед. науч. сотрудник РАН (ИГ РАН, г. Москва); В.В. Разумов, д-р геогр. наук, профессор; Л.Д. Тимченко, д-р ветеринар. наук, профессор; Л.Д. Цатуриян, д-р мед. наук, профессор (Ставропольский гос. мед. университет, г. Ставрополь); Н.И. Червяков, д-р техн. наук, профессор; В.А. Шальнев, д-р геогр. наук, профессор; Н.А. Щитова, д-р геогр. наук, профессор; А.С. Молохосени, канд. наук, доцент (Исламский университет Азад, Керман, Иран); Х.А.А. Кдаис, канд. техн. наук, профессор (Иорданский университет науки и технологии, Амман)
<b>Свидетельство о регистрации</b>	выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) ПИ № ФС77–52723 от 8.02.2013
<b>Подп. индекс</b>	Объединенный каталог. ПРЕССА РОССИИ. Газеты и журналы: 94011
<b>Журнал включен</b>	в БД «Российский индекс научного цитирования». Журнал «Вестник Ставропольского государственного университета» перерегистрирован в журнал «Наука. Инновации. Технологии» в связи с переименованием учредителя.
<b>Журнал</b>	в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, с 1 декабря 2015 г.
<b>Адрес Телефон Сайт E-mail</b>	редакции и издателя: 355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1 (8652) 33–07–32 www.ncfu.ru nit_ncfu@mail.ru
<b>ISSN</b>	2308–4758
<b>©</b>	ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 2020

**«Science. Innovations. Technologies»  
North Caucasus Federal  
University**

**Founder**

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education  
«North Caucasus Federal University»

**Editor in chief**

V. S. Belozerov, Doctor of Geographical Sciences, professor

**Editorial Board**

M.T. Abshaev, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, professor (Mountain Geophysical Institute, Nalchik); A.A. Likhovid, Dr. of Geographical Sciences, professor; V.S. Belozerov, Dr. of Geographical Sciences, professor, editor in chief; T.P. Bondar', MD, professor; V.B. Borodulin, MD, Professor (Saratov State Medical University, Saratov); O.A. Butova, MD, professor; Gerasimenko T.I., Dr. of Geographical Sciences, Professor (Orenburg State University, Orenburg); Gridin V.A., Dr. of geological-mineralogical Sciences, Professor; L.I. Gubareva, Sc. D., Professor; T.I. Dzhandarova, Sc. D., Associate Professor; Y.I. Dikanskiy, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, professor; L.A. Dinevich, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Tel-Aviv University, Tel-Aviv); K.V. Erin, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, professor; A.I. Zhakin, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Southwest State University, Kursk); A.R. Zakinyan, candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor; A.O. Ivanov, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Yeltsin's Ural Federal University); A.A. Kolyada, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor (Belarusian State University, Minsk); S.A. Kunikin, Ph.D., Associate Professor; A.D. Lodygin, Dr. of Technical Sciences, associate professor; A.V. Lysenko, Dr. of Geographical Science, associate professor; I.N. Molodikova, Ph.D. (Central European University, Budapest); V.I. Naats, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Professor; T.G. Nefedova, Dr. of Geographical Sciences, Leading Researcher, Russian Academy of Sciences (IG RAS, Moscow); P.M. Polyan, Dr. of Geographical Sciences, Leading Researcher, Russian Academy of Sciences (IG RAS, Moscow); V.V. Razumov, Dr. of Geographical Sciences, Professor; L.D. Timchenko, Dr. of Veterinary Sciences, Professor; Tsaturyan L.D., MD, Professor (Stavropol State Med. University, Stavropol); N.I. Chervyakov, Dr. of Technical Sciences, professor; V.A. Shalnev, Dr. of Geographical Sciences, Professor; N.A. Shitova, Dr. of Geographical Sciences, Professor; A.S. Molahosseini, assistant professor, PH.D (Islamic Azad University, Kerman); H. Qdais, Ph.D in environmental engineering, professor (Jordan University of science and technology, Amman)

**Certificate**

ПИ №ФС77–52723 dated February 8th 2013.

**The Index**

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.

**The journal**

is recommended by the State Commission for Academic Degrees and Titles for publishing the dissertation research results

**Adress  
Phone  
Site  
E-mail**

355017 Stavropol, Pushkin street, 1  
8 (8652) 33–07–32  
www.ncfu.ru  
nit\_ncfu@mail.ru

**ISSN**

2308–4758

©

FGAOU VO «North Caucasus Federal University», 2020

# СОДЕРЖАНИЕ

«НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ», № 2, 2020

25.00.17	РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	
	Гасумов Р.А., Гасумов Э.Р.	
	Исследования режимов движения газожидкостных потоков применительно к условиям эксплуатации обводняющихся газовых скважин . . . . .	7
	Gasumov R.A., Gasumov E.R.	
	Research of Modes of Gas-fluid Flows Motion Applicable to the Conditions of Flooding Gas Wells Operation . . . . .	7
25.00.23	ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИО- ГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ	
	Разумов В.В., Висхаджиева К.С., Разумова Н.В., Скрипчинский А.В.	
	Активность оползневых зон Ставропольской возвы- шенности	
	Razumov V.V., Viskhadzhieva K.S., Razumova N.V., Skripchinsky A.V.	
	Activity of the Landslide Zones of the Stavropol Up- land . . . . .	27

25.00.24	ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ	
	Шмыткова А.В., Ивлиева О.В.	
	Изучение рекреационных потребностей населения Юга России как основа формирования туристского спроса в регионе. . . . .	. 55
	Shmytkova A.V., Ivlieva O.V.	
	Study of Recreational Needs of the Population of the South of Russia as a Basis for the Formation of Tourism Demand in the Region . . . . .	. 55
25.00.24	ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ	
	Щербакова С.А.	
	Влияние эффекта межстоличья на территориаль- ную организацию туристско-рекреационной дея- тельности в российско-белорусском приграничье. . . . .	. 73
	Sherbakova S.A.	
	Influence of the Effect of Interstates on the Territorial Organization of Tourist and Recreational Activities in the Russian-Belarusian Border Area . . . . .	. 73
25.00.29	ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ	
	Закинян Р.Г., Закинян А.Р.	
	Анализ крупномасштабной циркуляции атмосферы по данным дистанционного зондирования Земли из космоса . . . . .	. 91

Zakinyan R.G.,  
Zakinyan A.R.

Analysis of Large-Scale Circulation of the Atmosphere  
by Data of Remote Sensing of the Earth from Space. . . . . 91

25.00.29 ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ

Ташилова А.А.,  
Ашабоков Б.А.,  
Кешева Л.А.,  
Теунова Н.В.

Прогноз летних температур методом сингулярно-  
спектрального анализа на юге России в 2019–2023 гг. . . . . 115

Tashilova A.A.,  
Ashabokov B.A.,  
Kesheva L.A.,  
Teunova N.V.

The summer temperatures forecast by the method of  
singular-spectral analysis in the south of Russia in  
2019–2023 . . . . . 115

25.00.17  
УДК 622.276.66

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ  
И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Гасумов Р.А.,

Северо-Кавказский федеральный университет,  
г. Ставрополь, Россия;

Гасумов Э.Р.

Азербайджанский государственный университет нефти  
и промышленности, г. Баку, Азербайджан.

### **ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ ПОТОКОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБВОДНЯЮЩИХСЯ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН**

Введение:

В статье рассмотрены режимы движения газожидкостных потоков применительно к условиям эксплуатации обводняющихся газовых скважин на поздней стадии разработки месторождений на примере сеноманской залежи крупнейших месторождений Западной Сибири и Крайнего Севера.

Материалы и методы  
исследований:

Изложен метод узлового анализа исследований закономерностей поведения газожидкостного потока в вертикальных лифтовых трубах газовых скважин, основанный на соотношениях, применяемых в расчетах потерь давления в двухфазном потоке (в системе «пласт – скважина»).

Результаты исследований

и их обсуждение:

Предоставлены результаты экспериментов и исследования по построению аппроксимационных зависимостей полученных данных и предложены аппроксимационные формулы для расчета приведенного градиента давления. Приведены тестовые примеры на сопоставление численного моделирования зависимости критического дебита от забойного давления и диаметра лифтовых труб по разработанному алгоритму.

Выводы:

На основе экспериментальных исследований в условиях эксплуатации обводняющихся скважин сеноманских газовых залежей разработана математическая модель движения газожидкостных потоков в вертикальных лифтовых колоннах и соответствующего вычислительного алгоритма.

Ключевые слова:

Газожидкостной поток (ГЖ), формула, алгоритмы, обводняющиеся газовые скважины, критическая скорость, восходящий поток, лифтовые колонны (ЛК), математическая модель, забойное давление.

\*Gasumov R.A., North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia  
R.Gasumov@yandex.ru  
Gasumov E.R. Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan

## **Research of Modes of Gas-fluid Flows Motion Applicable to the Conditions of Flooding Gas Wells Operation**

**Introduction:** the article discusses the modes of gas-liquid flow in relation to the operating conditions of flooding gas wells at the late stage of field development by example of the Cenomanian deposit of the largest deposits in Western Siberia and the Far North.

**Materials and methods of the research:** a method for nodal analysis for studying laws of gas-liquid flow behavior in gas wells vertical lift pipes is described, based on the ratios used in calculating the pressure loss in a two-phase flow (in the "reservoir-well" system).

**The results of the study and their discussion:** the results of experiments and studies on the construction of approximation dependencies of the obtained data are presented, and approximation formulas for calculating the reduced pressure gradient are proposed. Test examples are presented for comparing numerical modeling of the dependence of the critical flow rate on the bottomhole pressure and the diameter of the lift pipes according to the developed algorithm.

**Conclusions:** on the basis of experimental studies in the conditions of operation of water wells in Cenomanian gas deposits, a mathematical model of the movement of gas-liquid flows in vertical lift columns and a corresponding computational algorithm have been developed.

**Key words:** gas-liquid flow, formula, algorithms, flooding gas wells, critical velocity, upward flow, lift pipes, mathematical model, bottomhole pressure.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Процесс эксплуатации и выработки запасов сеноманских залежей крупнейших газовых месторождений (ГМ) Западной Сибири и Крайнего Севера, характеризующихся небольшими глубинами залегания и относительно низким энергетическим потенциалом, сопровождается падением пластового давления. При снижении дебитов и скорости восходящего потока газа до уровней, не обеспечивающих вынос всей конденсационной жидкости на поверхность, происходит ее скопление на забое и в лифтовых колоннах (ЛК) эксплуатационных скважин.

В настоящий момент такие проблемы отмечаются приблизительно в 30% эксплуатационного фонда и очевидно, что проблема постоянного роста количества скважин со скоплением жидкости на

забое уже сегодня требует пристального внимания. Разработка эффективных технологий добычи должна основываться на математической модели, адекватно воспроизводящей реальные условия эксплуатации, алгоритм которой базируется на результатах натуральных экспериментов.

Наиболее значимыми регулируемыми параметрами, позволяющими оптимизировать режим работы скважины регулированием скорости движения флюида в стволе, являются значения дебита, давления на забое и диаметр ЛК. Предлагаемая математическая модель, отражающая их взаимную корреляцию, позволяет обосновать соотношение параметров для создания скорости восходящего потока поступающих в скважину пластовых флюидов, не позволяющей жидкости скапливаться на забое и создавать гидростатическое противодействие притоку углеводородов из пласта.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Методика исследований включала экспериментальное изучение движения вертикальных газожидкостных потоков (ГЖП) при установившихся и неустойчивых режимах в газовых скважинах со скапливающейся на забое конденсационной водой. Разработка математической модели и расчетных алгоритмов выполнены по результатам экспериментальных работ в условиях, воспроизводящих реальные условия эксплуатации.

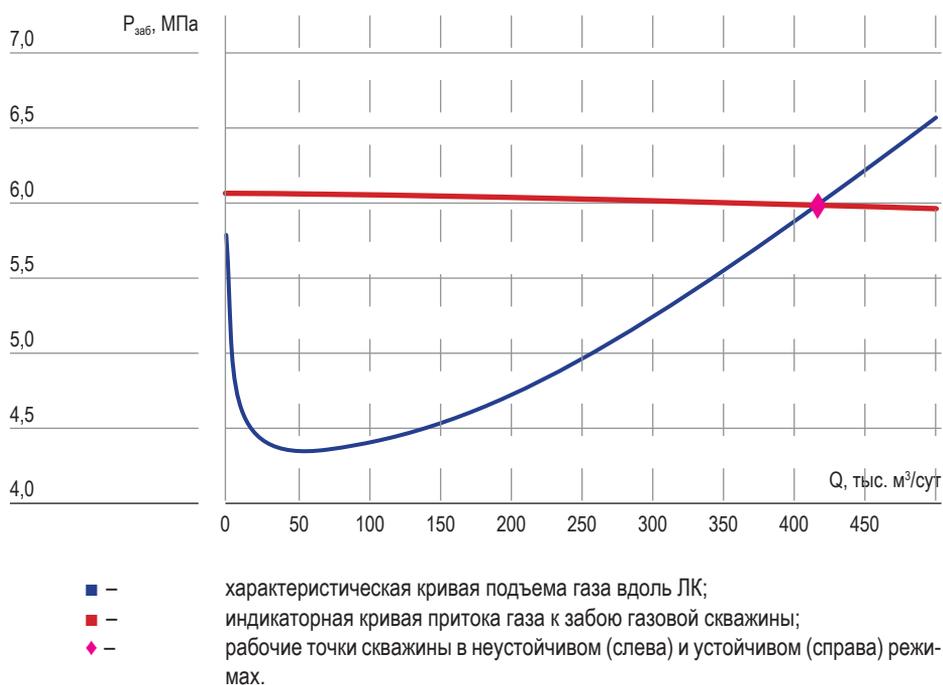
Выполнены анализ и обобщение результатов гидродинамических характеристик пласта и промысловых данных.

При анализе эффективности работы отдельных скважин сеноманских газовых залежей и моделирования их работы применялся метод узлового анализа.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ**

Моделирование работы скважины с использованием метода узлового анализа является общепринятой методикой анализа эффективности работы отдельных скважин и оценки возможности применения различных технологий в целях повышения уровня добычи. Соотношение забойного давления и дебита скважины отражает потенциал пласта по отдаче пластовых флюидов в ствол скважины в условиях депрессии – разницы между пластовым и забойным давлениями.

Исследовались закономерности поведения ГЖП в вертикальных ЛК газовых скважин, основанные на расчетах потерь давления в двухфазном потоке в системе «пласт – скважина» [1–4].



**Рисунок 1. Характеристическая и индикаторная кривые газовой скважины.**

Figure 1. Gas well characteristic and indicator curves.

- Метод базируется на анализе двух зависимостей:
- индикаторной кривой, отражающей поступление газа из пласта на забой;
  - характеристической кривой, моделирующей подъем газа от забоя скважины к устью.

Пересечение кривых (рис. 1) происходит в рабочей точке, определяющей дебит добываемого газа и забойное давление на уровне середины интервала перфорации в пласте.

Уравнение притока газа из пласта к скважине имеет вид:

$$\Delta p^2 \equiv p_{пл}^2 - p_з^2 = aQ + bQ^2, \quad (1)$$

где:  $p_{пл}$  — пластовое давление, МПа;  
 $p_з$  — забойное давление, МПа;

- $a$  – линейный коэффициент фильтрационного сопротивления, МПа<sup>2</sup>/(тыс. м<sup>3</sup>/сут.);  
 $b$  – квадратичный коэффициент фильтрационного сопротивления, МПа<sup>2</sup>/(тыс. м<sup>3</sup>/сут.)<sup>2</sup>;  
 $Q$  – дебит скважины, тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Промысловая практика показала, что в процессе добычи газа значения линейного и квадратичного коэффициентов фильтрационного сопротивления  $a$  и  $b$  могут значительно изменяться, на один–два, иногда – три порядка, вследствие чего существенно меняется минимальный дебит устойчиво работающей скважины.

Охарактеризовать приток газа к скважине позволяет график зависимости  $p_c$  от дебита скважины  $Q$ . Такая зависимость, согласно (1), описывается уравнением:

$$p_3 = f(Q) = \sqrt{p_{nl}^2 - aQ - bQ^2}. \quad (2)$$

График этого уравнения, являющийся индикаторной кривой притока газа к скважине, соответствует красной линии на рисунках 1 и 2.

Характеристическая кривая лифтовой колонны  $p_c = g(Q)$  строится на основе математической модели течения газа от забоя к устью. Для сухого газа забойное давление определяется в соответствии с уравнением

$$p_3^2 = p_y^2 \cdot e^{2S} + \theta \cdot Q^2, \quad (3)$$

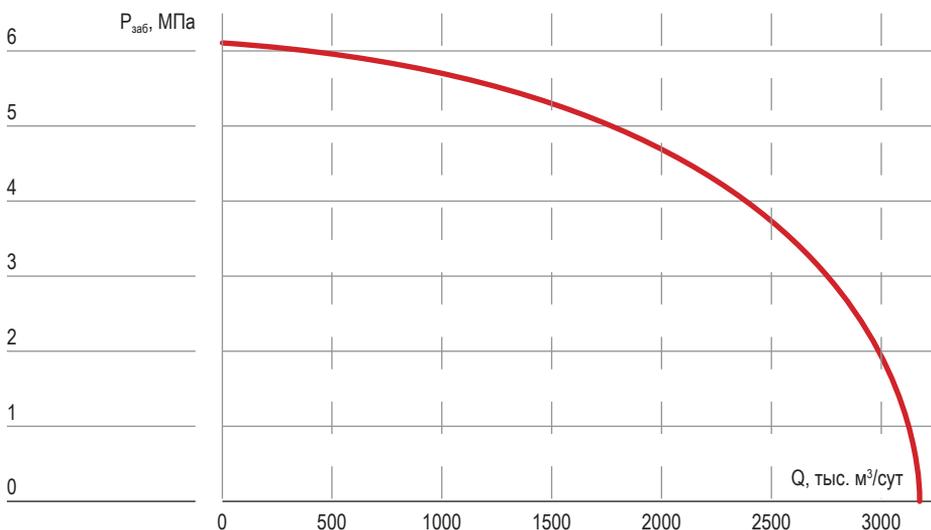
$$2S = 0,06833 \frac{\bar{p}_g \cdot H_{скв.}}{z_{cp} \cdot T_{cp}}, \quad (4)$$

$$\theta = 0,01324 \cdot 10^{-10} \cdot \lambda \cdot \frac{z_{cp}^2 \cdot T_{cp}^2}{d_{НКТ}^5} \cdot (e^{2S} - 1); \quad (5)$$

- где  $p_y$  – устьевое давление, МПа;  
 $Q$  – дебит скважины, тыс. м<sup>3</sup>/сут;  
 $\bar{p}_g$  – относительная плотность газа по воздуху;  
 $H_{скв.}$  – глубина скважины, м;  
 $z_{cp}$  – средний по стволу скважины коэффициент сверхсжимаемости газа, определяемый для условий

$$T_{cp} = \frac{1}{2}(T_y + T_3) \text{ и } p_{cp} = \frac{1}{2}(p_y + p_3);$$

- $\lambda$  – коэффициент гидродинамического сопротивления движению сухого газа.  
 $d_{НКТ}$  – внутренний диаметр НКТ, м.



**Рисунок 2.** Индикаторная кривая газовой скважины.  
Figure 2. Gas well indicator curve.

Анализ работы скважин в условиях скопления жидкости на забое затруднителен, поскольку в ЛК происходит движение не однофазного потока сухого газа, а газожидкостной смеси (ГЖС). Для моделирования движения ГЖС вдоль ствола ЛК разработан ряд концептуальных подходов [5].

Приведенный градиент давления  $i = \Delta P / \rho_{жс} \cdot g \cdot \Delta L$  заменен на полученную экспериментально зависимость от комплексного числа Фруда и числа Фруда по жидкости [6]. В этом случае для расчета падения давления вдоль вертикальных ЛК при движении в них ГЖС вместо (6) применяется дифференциальное уравнение (ось  $x$  направлена вертикально вниз)

$$\frac{dp}{dx} = \underbrace{\rho_r(p, T) \cdot g}_{\substack{\text{учет силы веса} \\ \text{газа} \\ \text{в газожидкостной} \\ \text{смеси}}} + \underbrace{\rho_{жс} \cdot g \cdot f(Fr^*, Fr_{жс})}_{\substack{\text{учет силы веса жидкости и} \\ \text{сил сопротивления движению} \\ \text{газожидкостной смеси}}, \quad (6)$$

где  $Fr^*$  – комплексное (модифицированное) число Фруда [2], определяемое по формулам:

$$Fr^* = \frac{w_z^2}{g \cdot d_{НКТ}} = \frac{1}{g \cdot d_{НКТ}^5} \cdot \left( \frac{Q}{21,6 \cdot \pi} \right)^2 \cdot \frac{\rho_g}{\rho_{жс}} \quad (7)$$

$$Fr_{жс} = \frac{w_{жс}^2}{g \cdot d_{НКТ}} = \frac{1}{g \cdot d_{НКТ}^5} \cdot \left( \frac{\gamma \cdot Q}{21,6 \cdot \pi} \right)^2, \quad (8)$$

где  $w_г$  – скорость движения газа вдоль ЛК;  
 $\rho_г$  – плотность сухого газа;  
 $\rho_{жс}$  – плотность выносимой жидкости;  
 $g$  – ускорение свободного падения;  
 $d_{НКТ}$  – внутренний диаметр ЛК;  
 $Fr^*$  – число Фруда по жидкости;  
 $w_{жс}$  – приведенная скорость движения жидкости вдоль ЛК;  
 $\gamma$  – газовой фактор, равный объему жидкости (в см<sup>3</sup>), выносимой из скважины газом объемом 1 м<sup>3</sup>.

Учитывая, что газовой фактор вычисляется не для отдельной скважины, а в среднем по газовому промыслу, а также то, что удаление конденсационной жидкости из скважины чаще всего осуществляется методом продувок, вместо газовой фактора рекомендуется использовать коэффициент влагосодержания. В этом случае выражение для числа Фруда по жидкости принимает вид:

$$Fr_{жс} = \frac{1}{g \cdot d_{НКТ}^5} \cdot \left( \frac{W \cdot Q}{21,6 \cdot \rho_{жс} \cdot \pi} \right)^2 \quad (9)$$

(плотность жидкости с высокой точностью может быть принята  $\rho_{жс} \approx 1009,8$  кг/м<sup>3</sup>).

Численное интегрирование (6) осуществляется совместно с начальным условием

$$p|_{x=0} = p_y. \quad (10)$$

Функция  $f(Fr^*, Fr_{жс})$  в уравнении (6) определяет ту часть величины градиента давления, которая обусловлена силами трения движущейся ГЖС со стенками ЛК и силами трения газовой и жидкой фазами ГЖС между собой. Аналитически определить величину  $f(Fr^*, Fr_{жс})$  не представляется возможным, поэтому определяется экспериментальным способом  $i \equiv f(Fr^*, Fr_{жс}) = \Delta P / \rho_{жс} \cdot g \cdot \Delta L$ . Функция  $f(Fr^*, Fr_{жс})$ , называемая приведенным градиентом давления, определенная на основании выполненных нами экспериментов и исследований по построению аппроксимационных зависимостей экспериментальных данных, представлена в виде таблиц 2–4.

Были получены следующие аппроксимационные формулы для расчета приведенного градиента давления

$$i \equiv f(Fr^*, Fr_{жс}) = \Delta P / \rho_{жс} \cdot g \cdot \Delta L:$$

$$i = \alpha \cdot \lambda^2 + \beta \cdot \lambda + \gamma, \quad (11)$$

где

$$\alpha = -1,905535368$$

$$\beta = 1,427956397$$

$$\gamma = -0,003741653$$

Параметр  $\lambda$  в формуле (11) вычисляется через значения чисел Фруда  $Fr^*$ , и  $Fr_{жс}$  по формуле:

$$\lambda = \left( \frac{B}{\sqrt{Fr^*}} + A \cdot Fr^* + D \right) \cdot \sqrt[4]{Fr_{жс}}. \quad (12)$$

Коэффициенты  $A$ ,  $B$  и  $D$  в формуле (12) имеют значения:  $A = 2,02579E-04$ ,  $B = 13,24927$  и  $D = -0,3218$ . График модельной зависимости, построенный по формулам (11) и (12), приводится на рисунке 3. Из графика на рисунке 3 видно хорошее качественное и удовлетворительное количественное соответствие аппроксимационной модели (18), (19) имеющимся экспериментальным данным.

Аппроксимационная модель (11), (12), учитывающая всё множество экспериментальных данных, требует своего уточнения лишь в узких областях значений чисел Фруда, а не в глобальной области всех физически возможных их значений [1, 9, 11], что позволяет газодобывающим компаниям сократить объемы дорогостоящих и трудозатратных экспериментальных исследований вертикальных ГЖС.

В основе численного интегрирования уравнения (6) с начальным условием (10) лежат результаты проведенного эксперимента, данные по которому приведены в таблице 1, и аппроксимационная модель для приведенного градиента давления [8–10].

На основании значений, приведенных в таблице 1, выполняется решение уравнения (6) с начальным условием (10). Для решения краевой задачи (6), (10) используется численный метод.

В основе метода лежит разбиение всей ЛК по длине на  $n$  частичных отрезков, на каждом из которых выполняется вычисление. Причем, нулевой узел соответствует устью скважины, а  $n$ -й узел – забой скважины (глубине спуска ЛК).

В результате решения задачи (6) и (10) найдем таблично заданную функцию распределения давления вдоль ЛК и, в частности, значение давления на башмаке ЛК, принимаемое в качестве забойного давления.

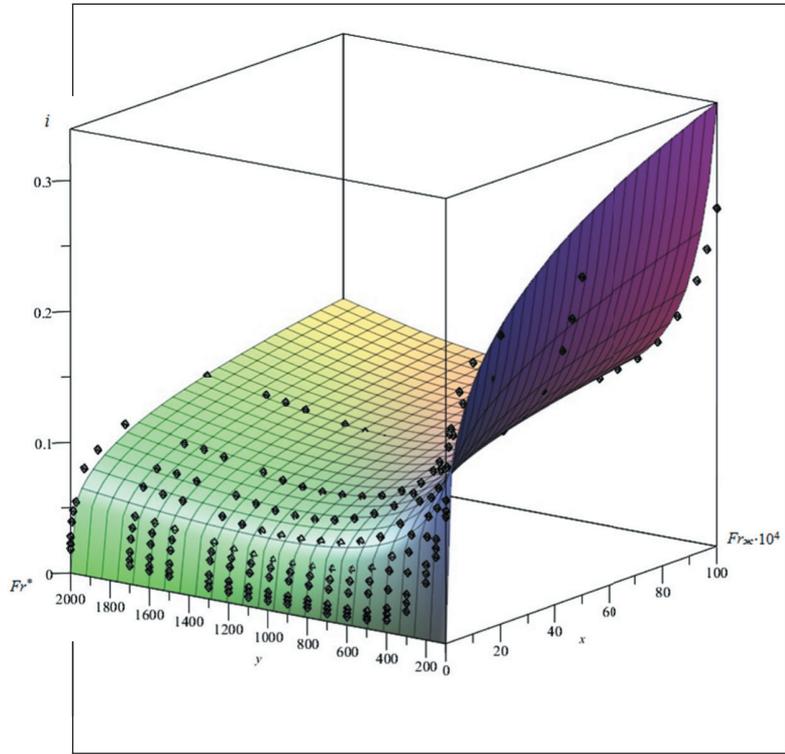


Рисунок 3.

**Сравнение модельной зависимости (представленной гладкой поверхностью) приведенного градиента давления от комплексного числа Фруда и числа Фруда по жидкости с экспериментальными данными.**

Figure 3. Comparison of the model dependence (represented by a smooth surface) of the reduced pressure gradient on the complex Froude number and the Froude number in the liquid with experimental data.

Приведем тестовые примеры. Тестовый пример 1 на сопоставление численного моделирования зависимости критического дебита от забойного давления и диаметра ЛК по разработанному алгоритму (расчеты забойного давления для ЛК с длиной  $L = 1000$  м, с внутренним диаметром  $d = 10$  см и дебитом скважины по воде  $q_v = 0,2$  м<sup>3</sup>/сут). Значения устьевых давлений и дебитов скважины по газу представлены в таблице 2.

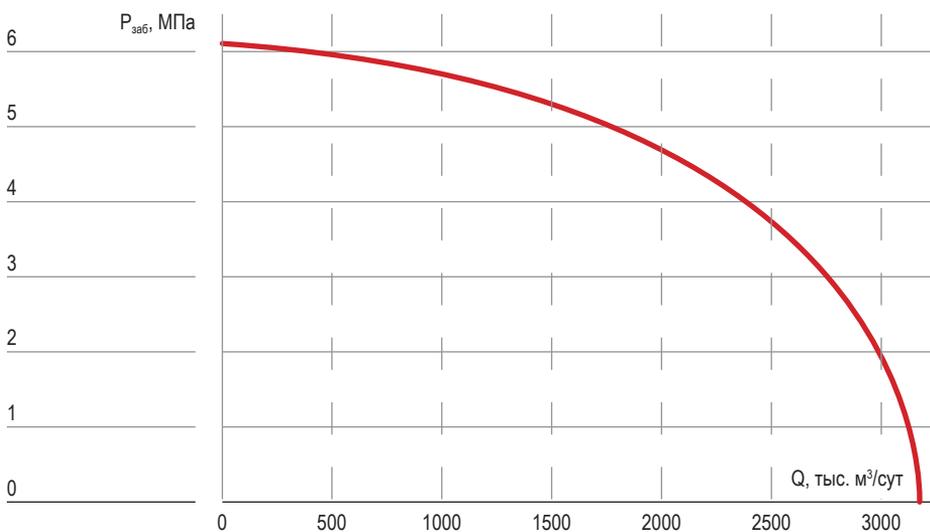
Характеристические кривые вертикальной ЛК с длиной  $L = 1000$  м, внутренним диаметром  $d = 10$  см и дебитом скважины по воде  $q_v = 0,2$  м<sup>3</sup>/сут представлены на рисунке 4.

Таблица 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРИВЕДЕННОГО ГРАДИЕНТА ДАВЛЕНИЯ  $i$  ОТ ЧИСЕЛ ФРУДА  $Fr^*$  И  $Fr_{ж} \cdot 10^4$  В ОБЛАСТИ  $0,2 \leq Fr^* \leq 10$  И  $0 \leq Fr_{ж} \cdot 10^4 \leq 5$

Table 1. Results of experimental studies of the dependence of the reduced pressure gradient  $i$  on the Froude numbers  $Fr^*$  and  $Fr_{ж} \cdot 10^4$  in the region  $0,2 \leq Fr^* \leq 10$  and  $0 \leq Fr_{ж} \cdot 10^4 \leq 5$

Комплексное число Фруда, $Fr^*$	Число Фруда по жидкости, $Fr_{ж} \cdot 10^4$						
	0	0,05	0,1	0,5	1	2	5
0,2	0,006009	0,023564	0,053648	0,0795	0,113513	0,27181	0,50483
0,5	0,004838	0,009787	0,036459	0,053648	0,079705	0,13513	0,223592
1	0,00638	0,012535	0,028978	0,032155	0,056279	0,10881	0,165397
1,5	0,010184	0,023547	0,035125	0,040266	0,059181	0,11517	0,15987
2	0,014676	0,041124	0,05313	0,062157	0,072066	0,12901	0,186971
2,5	0,019275	0,051246	0,068946	0,078047	0,086507	0,14357	0,224264
5	0,042037	0,105571	0,119454	0,139849	0,150871	0,26455	0,380702
5,2	0,04385	0,109505	0,131565	0,144713	0,155932	0,27957	0,393019
5,4	0,045663	0,113439	0,134546	0,149576	0,160994	0,28912	0,405336
10	0,087357	0,203925	0,235654	0,261435	0,27741	0,43257	0,688627



Лифтовая труба: длина – 1000 м, внутренний диаметр 0,01 м;  
дебит скважины по воде 0,2 м³/сут.

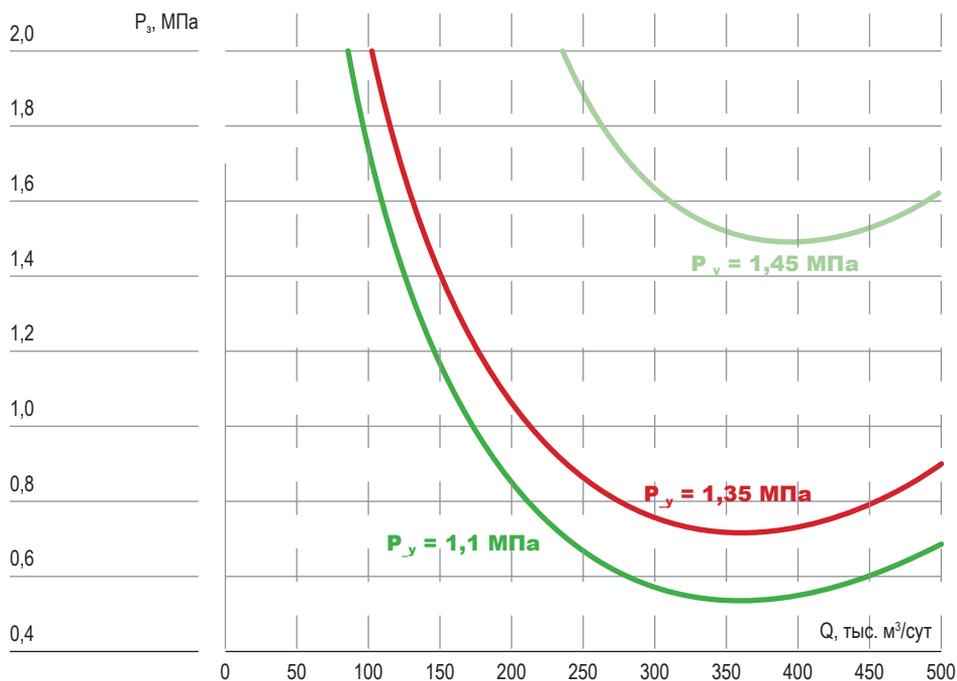
Рисунок 4.

Характеристические кривые вертикальной ЛК.

Figure 4. Vertical lift pipe characteristic curves.

Таблица 2. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ЗАБОЙНЫХ ДАВЛЕНИЙ  
( $p_{\text{заб}}$ , МПа в примере 1)  
Table 2. Results of bottom-hole pressure calculations  
( $p_{\text{заб}}$ , МПа in example 1)

$p_{\text{уст}}, \text{ МПа}$	Дебит $Q$ , $\frac{\text{тыс. м}^3}{\text{сут.}}$										
	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
0,78	7,44	0,90	0,98	1,44	1,92	2,60	3,28	3,98	4,95	6,04	7,26
0,9	4,73	0,93	1,09	1,67	1,94	2,43	3,07	3,72	4,53	5,47	6,56
1,01	3,76	1,68	1,43	1,56	1,81	2,05	2,29	2,65	3,04	3,41	3,90
1,1	4,16	2,69	1,80	1,17	2,17	1,90	1,79	1,74	1,82	1,91	2,01
1,3	6,33	4,59	3,20	2,40	1,99	1,82	1,73	1,65	1,75	1,68	1,71
1,35	4,20	2,93	1,98	1,46	2,11	1,78	1,65	1,60	1,62	1,61	1,61
1,4	9,04	6,20	4,14	2,95	2,23	1,87	1,67	1,58	1,48	1,58	1,58
1,45	10,82	7,00	4,70	3,25	2,38	1,87	1,64	1,47	1,47	1,54	1,60
1,6	10,24	6,92	4,88	3,71	2,98	2,60	2,34	2,16	1,98	1,84	1,68
1,8	9,52	6,66	5,13	4,23	3,71	3,41	3,22	2,94	2,66	2,27	1,94
2	8,84	6,55	5,31	4,57	4,34	4,13	3,92	3,64	3,29	2,65	2,01
2,2	8,22	6,35	5,41	4,95	4,83	4,71	4,56	4,26	3,75	3,04	2,26
2,4	7,72	6,18	5,56	5,25	5,29	5,19	5,09	4,77	4,24	3,40	2,40
2,6	7,32	6,06	5,63	5,54	5,60	5,58	5,51	5,24	4,66	3,80	2,63
2,8	6,83	5,98	5,63	5,73	5,84	5,89	5,80	5,53	5,01	4,05	2,83
3	6,53	5,89	5,72	5,84	5,95	6,06	6,09	5,78	5,18	4,40	3,14
3,2	6,24	5,76	5,69	5,80	6,08	6,15	6,16	5,92	5,42	4,65	3,53
3,4	6,00	5,60	5,67	5,85	6,02	6,19	6,18	5,97	5,50	4,86	3,88
3,6	5,90	5,55	5,56	5,70	5,92	6,02	6,04	5,95	5,62	5,07	4,28
3,8	5,76	5,47	5,42	5,53	5,63	5,81	5,83	5,83	5,62	5,18	4,70
4	5,74	5,45	5,26	5,30	5,42	5,44	5,58	5,60	5,55	5,38	5,18
4,2	5,79	5,41	5,14	5,00	4,96	5,05	5,13	5,24	5,33	5,50	5,63
4,28	5,88	5,37	5,02	4,91	4,76	4,82	4,92	5,05	5,30	5,57	5,83
4,3	5,86	5,40	5,02	4,79	4,76	4,79	4,87	5,06	5,25	5,54	5,92
4,39	5,86	5,38	4,88	4,60	4,48	4,49	4,61	4,85	5,18	5,60	6,17
5	9,56	8,31	7,07	6,09	5,51	5,23	5,41	6,03	7,18	8,79	10,92



Лифтовая труба: длина – 1000 м,  
внутренний диаметр 0,01 м; дебит скважины по воде 0,2 м³/сут.

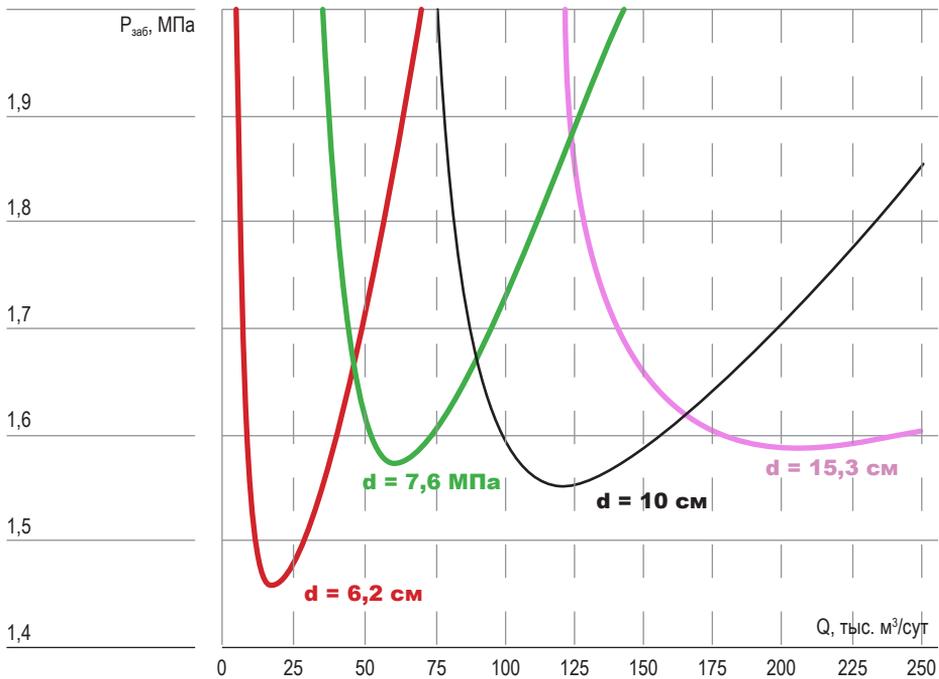
**Рисунок 4. Характеристические кривые вертикальной ЛК.**

Figure 4. Vertical lift pipe characteristic curves.

**Таблица 3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ЗАБОЙНЫХ ДАВЛЕНИЙ  $p_{зab}$ , МПа В ПРИМЕРЕ 2**

Table 3. Results of bottom-hole pressure calculations  $p_{зab}$ , МПа in example 2

Внутренние диаметры НКТ $d$ , см	Дебит $Q$ , $\frac{тыс. м^3}{сут.}$										
	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
6,2	2,99	1,85	3,22	6,58	12,12	20,69	32,44	51,08	78,53	120,20	182,06
7,0	3,06	1,26	1,69	2,77	4,38	6,84	10,55	14,76	20,44	28,12	39,18
7,6	2,85	1,72	1,91	2,78	3,55	4,81	6,87	9,45	12,05	15,36	19,73
10,0	3,74	1,37	1,39	1,32	1,52	2,09	2,59	2,49	2,73	3,47	3,80
13,2	7,21	3,15	1,92	1,82	2,32	2,57	2,62	3,19	3,54	3,94	4,66
15,3	10,92	4,56	2,01	1,70	1,26	1,29	1,96	2,02	2,07	2,70	2,86
16,4	13,32	5,59	2,51	1,26	1,24	0,99	1,22	1,23	1,93	2,13	2,34



**Рисунок 5.** Влияние внутреннего диаметра вертикальной ЛК на её характеристическую кривую.

Figure 5. The inner diameter of a vertical lift pipe influence on its characteristic curve.

Тестовый пример 2. Расчеты забойного давления для ЛК с длиной  $L = 1000$  м, зафиксированным устьевым давлением  $p_{уст} = 1,01$  МПа, дебитом скважины по воде  $q_v = 0,2$  м³/сут при различных внутренних диаметрах ЛК. Значения устьевых давлений и дебитов скважины по газу представлены в таблице 3.

Влияние внутреннего диаметра вертикальной ЛК на её характеристическую кривую показано на рисунке 5.

В результате использования показателей таблиц 2 и 3 удалось найти следующую закономерность, где наиболее удобным уравнением для аппроксимации всех характеристических кривых вертикальных ЛК является:

$$P_{заб} = a_1 \cdot \exp(b_1 \cdot Q) + a_2 \cdot \exp(b_2 \cdot Q) + a_0, \quad (13)$$

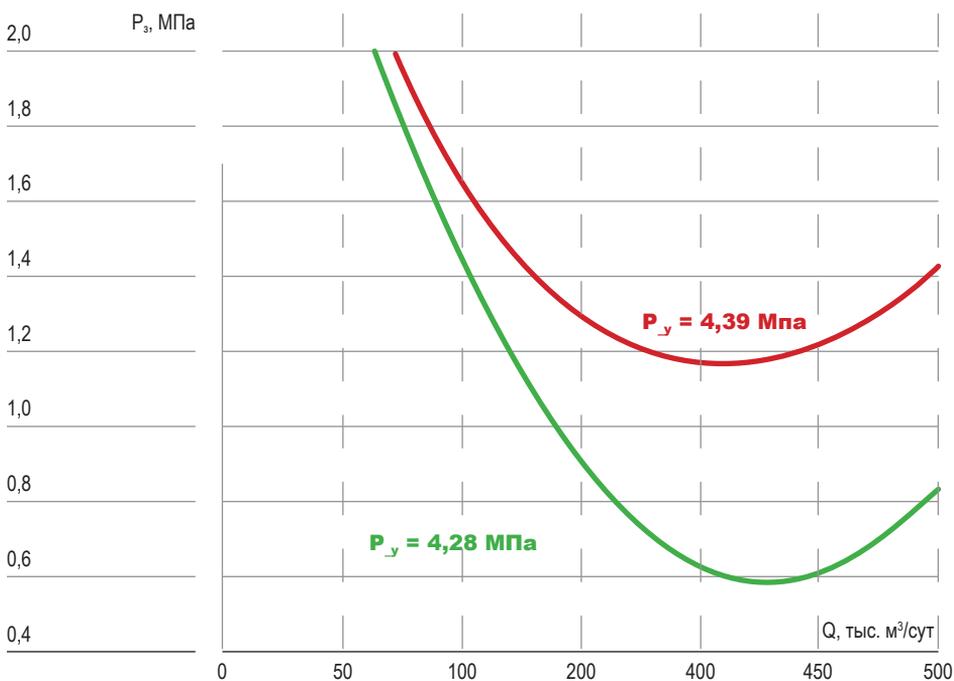
где  $P_{заб}$ , МПа;  
дебит тыс.м³/сут.

Коэффициенты уравнения (13) зависят от длины ЛК  $L$ , м, ее внутреннего диаметра  $d$ , см; водогазового фактора  $q_b$ , м<sup>3</sup>/сут и устьевого давления  $p_{уст}$ , МПа. В таблицах 4 и 5 приведены коэффициенты эмпирического уравнения характеристических кривых вертикальных ЛК для различных исходных данных.

Таблицы 4 и 5, совместно с эмпирическим уравнением характеристических кривых (13), значительно расширяют возможности проведения практического узлового анализа.

Например, на рисунке 6 с помощью уравнения (13) и таблицы 5 построены характеристические кривые  $p_{заб} = p_{заб}(Q)$  на интервале  $0 \leq Q \leq 500$  для следующих исходных данных:  $q_b = 0,2$  м<sup>3</sup>/сут,  $L = 1000$  м,  $d = 0,1$  м. Значения устьевого давления:  $p_{уст} = 4,28; 4,39$  МПа.

На рисунке 7 с помощью уравнения (13) и таблицы 5 построены характеристические кривые для ЛК с разными внутренними диаметрами.



**Рисунок 6.** Влияние изменения устьевого давления на характеристическую кривую вертикальной ЛК.

Figure 6. The effect of changes in wellhead pressure on the vertical lift pipe characteristic curve.

Таблица 4. КОЭФФИЦИЕНТЫ УРАВНЕНИЯ (13) ДЛЯ ЗНАЧЕНИЙ УСТЬЕВОГО ДАВЛЕНИЯ ( $p_{уст} = 1,01$  МПа) И ВОДОГАЗОВОГО ФАКТОРА ( $q_b = 0,2$  м<sup>3</sup>/сут)  
Table 4. Coefficients of the equation (13) for the values of the wellhead pressure ( $p_{уст} = 1,01$  МПа) and the water-gas factor ( $q_b = 0,2$  м<sup>3</sup>/сут)

Коэффициенты	Внутренний диаметр ЛК, см						
	6,2	7,0	7,6	10	13,2	15,3	16,4
$b_1$	0,0081	0,0058	0,0042	0,0019	0,0005	0,0002	0,0001
$b_2$	-0,0324	-0,0291	-0,0223	-0,0322	-0,0222	-0,0192	-0,0194
$a_1$	3,2037	2,2263	2,7462	1,8206	14,1408	28,2360	37,4810
$a_2$	3,7177	3,1143	2,8675	2,8395	6,3754	10,7944	13,7557
$a_0$	-3,9872	-2,5243	-2,7773	-0,9056	-13,3355	-28,2303	-38,1276

Таблица 5. КОЭФФИЦИЕНТЫ УРАВНЕНИЯ (13) ДЛЯ ЗНАЧЕНИЙ УСТЬЕВОГО ДАВЛЕНИЯ И ВОДОГАЗОВОГО ФАКТОРА  
Table 5. Coefficients of the equation (13) for the values of the wellhead pressure and the water-gas factor

$p_{уст}$ , МПа	$Q_b$ , м <sup>3</sup> /сут	Коэффициенты уравнения (30)	Числовые значения коэффициентов для лифтовых труб с длиной $L = 1000$ м и внутренним диаметром $d = 0,1$ м
0,78	0,2	$b_1$	0,0030
		$b_2$	-0,0640
		$a_1$	2,0609
		$a_2$	7,1691
		$a_0$	-1,7602
		1,01	0,2
$b_2$	-0,0322		
$a_1$	1,8206		
$a_2$	2,8395		
$a_0$	-0,9056		
1,1	0,2		
		$b_2$	-0,0081
		$a_1$	2,7064
		$a_2$	4,5506
		$a_0$	-3,1244

$P_{уст}$ МПа	$Q_{вз}$ м <sup>3</sup> /сут	Коэффициенты уравнения (30)	Числовые значения коэффициентов для лифтовых труб с длиной $L = 1000$ м и внутренним диаметром $d = 0,1$ м
1,35	0,2	$b_1$	0,0005
		$b_2$	-0,0071
		$a_1$	4,8338
		$a_2$	4,7835
		$a_0$	-5,4075
1,45	0,2	$b_1$	0,0003
		$b_2$	-0,0091
		$a_1$	9,9878
		$a_2$	10,6487
		$a_0$	-9,8399
4,28	0,2	$b_1$	0,0001
		$b_2$	-0,0040
		$a_1$	125,3293
		$a_2$	5,1185
		$a_0$	-124,6074
4,39	0,2	$b_1$	0,0001
		$b_2$	-0,0013
		$a_1$	219,7778
		$a_2$	34,4613
		$a_0$	-248,3381
4,16	5,0	$b_1$	0,0005
		$b_2$	-0,0039
		$a_1$	26,8205
		$a_2$	8,4619
		$a_0$	-28,7261
4,30	5,0	$b_1$	0,0003
		$b_2$	-0,0168
		$a_1$	6,7732
		$a_2$	3,9724
		$a_0$	-2,5869

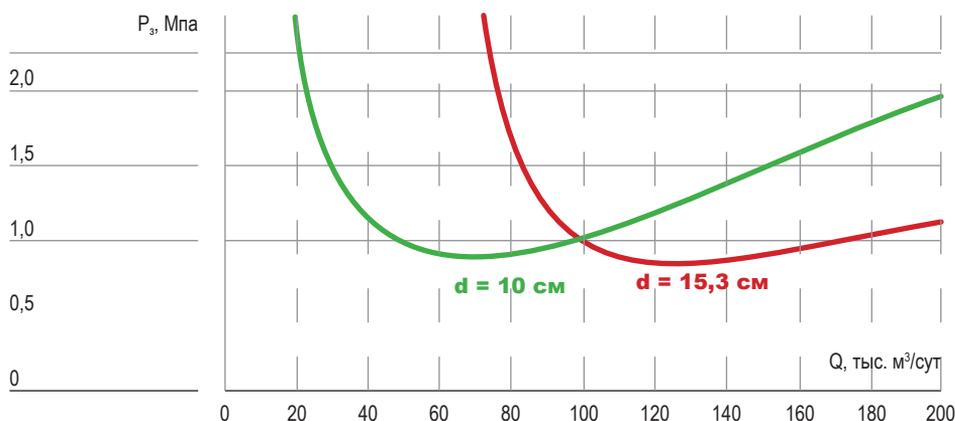


Рисунок 7.

**Характеристические кривые для ЛК (с внутренними диаметрами 0,10 и 0,153 м. Длина ЛК  $L = 1000$  м, давление на устье  $p_{уст} = 0,78$  МПа и водогазовый фактор  $Q_v = 0,2$  м<sup>3</sup>/сут).**

Figure 7. Characteristic curves for LP (with internal diameters of 0,1 and 0,153 m. LP length, wellhead pressure and water-gas factor).

### ВЫВОДЫ

Разработка метода и соответствующего вычислительного алгоритма для сеноманских газовых залежей на основе экспериментальных работ в условиях, воспроизводящих реальные условия эксплуатации скважин со скоплением жидкости на забое, позволяет выполнить численное моделирование зависимости критического дебита от забойного давления и диаметра ЛК:

1. Представленные примеры сравнительных расчетов доказывают достоверность разработанного метода и вычислительного алгоритма. Рабочая точка определяется как точка пересечения индикаторной и характеристической кривых. Если графики индикаторной и характеристической кривых имеют две точки пересечения, в качестве рабочей точки выбирается правая с более высоким дебитом, соответствующая устойчивому режиму.
2. Дебит скважины в рабочей точке будет соответствовать дебиту газа  $Q$  при заданных пластовых и устьевых условиях. Давление газа в рабочей точке будет соответствовать забойному давлению  $p_c$ . Если характеристическая и индикаторная кривые не пересекаются, скважина при заданных условиях в пласте и на устье считается неработающей.  
По найденному значению давления  $p_c$  на забое скважины в рабочей точке и заданному значению температуры на забое  $T_c$  по формуле

$$Q_{\min} \left[ \frac{\text{ТЫС. М}^3}{\text{СУТ}} \right] = 84475 \cdot d_{\text{ИКТ}}^2 \cdot \sqrt{\frac{P_3}{T_3 \cdot z_3}} \quad (14)$$

вычисляется значение критического дебита скважины (минимального дебита, достаточного для выноса жидкости).

3. Если дебит скважины в рабочей точке превышает величину  $Q_{\min}$ , происходит устойчивый вынос жидкости из скважины, предотвращающий скопление жидкости на забое. Если дебит скважины в рабочей точке меньше величины  $Q_{\min}$ , на забое скважины накапливается жидкость, что приводит к снижению ее производительности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гасумов Р.А. Аппроксимационные математические модели эксплуатационных свойств газовых скважин и их применение к расчетам прогнозных дебитов / Р.А. Гасумов, В.А. Толпаев, К.С. Ахмедов, И.М. Першин, Э.Р. Гасумов, М.Т. Петросянц // Нефтепромысловое дело. М.: ВНИИОЭНГ. 2019. №5 (005). С. 53-59
2. Бузинов С.Н. Эксплуатация газовых скважин на поздней стадии разработки / С.Н. Бузинов, Б.Г. Ахмедов. М.: ВНИИГазпром, 1980.
3. Ли Дж. Эксплуатация обводняющихся газовых скважин. Технологические решения по удалению жидкости из скважин / Дж. Ли Г. Никенс Уэллс Перевод с английского. М.: Премиум Инжиниринг, 2008.
4. Бузинов С.Н. К вопросу о выборе газлифтной эксплуатации скважин на поздней стадии разработки газового месторождения / С.Н. Бузинов, Г.М. Герещ, О.В. Николаев, А.Н. Харитонов, С.А. Шулепин // Территория нефтегаз. 2013. №5. С. 80–83.
5. Коротаяев Ю.П. Избранные труды / Ю.П. Коротаяев. М.: Недра, 1996.
6. Jansen J.D. Numerical modeling of flow in extended stringer completions: J.D. Jansen // Research Report for Shell International E&P, TU Delft, 2000.
7. Dutcher C. S. Surface tensions of inorganic multicomponent aqueous electrolyte solutions and melts / C.S. Dutcher, A.S. Wexler, S.L. Clegg // The Journal of Physical Chemistry A. 2010. № 114, Is. 46. P. 12216–12230.
8. Gray H.E. Flowing Pressure Calculations for Gas / Condensate Wells H. E. Gray // EPR Report 855, Shell Oil Corporation, 1955.
9. Гасумов Р.А. Аппроксимационные модели для расчета потерь

- давления в скважинах, работающих с газожидкостными потоками / Р.А. Гасумов, В.А. Толпаев, К.С. Ахмедов, А.М. Кравцов, М.Т. Петросянц // Автоматизация, телемеханизация и связь. М.: ВНИИОЭНГ. 2017. №7. С. 32–37.
10. Мамаев В.А. Движение газожидкостных смесей в трубах / В.А. Мамаев, Г.Э. Одишария, О.В. Клапчук, А.А. Точигин, Н.И. Семенов. М.: Недра, 1978.
  11. Толпаев В. А. Аппроксимационная зависимость коэффициента сверхсжимаемости газа от давления и температуры / В.А. Толпаев, П.В. Корчагин, С.А. Гоголева // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. М.: ВНИИОЭНГ. №12, 2013. С. 35–38.
  12. Amusa Samuel. Optimal Position of the Extended Tail pipes for Liquid Removal from Gas Wells: Faculty of Aerospace Engineering TU Delft in partial fulfillment of the requirement for the degree of Master of Science / Samuel Amusa. Royal Dutch Shell, Rijswijk, Netherlands, 2009.

#### REFERENCES

1. Gasumov R.A. Approximate mathematical models of the operational properties of gas wells and their application to the calculation of forecast production rates / Gasumov R.A., Tolpaev V.A., Akhmedov K.S., Pershin I.M., Gasumov E.R., Petrosyants M.T. // Oilfield business. М.: VNIIOENG. 2019. No. 5 (005). P. 53-59
2. Buzinov S.N. The exploitation of gas wells at a late stage of development / S. N. Buzinov, B. G. Akhmedov // М.: VNIIEgazprom, 1980.
3. Lee J. Operation of waterlogged gas wells. Technological solutions for the removal of fluid from wells / J. Lee G. Nickens Wells Translated from English. // М.: Premium Engineering, 2008.
4. Buzinov S. N. On the question of choosing gas-lift operation of wells at a late stage of gas field development/ S.N. Buzinov, G.M. Geresh, O.V. Nikolaev, A.N. Kharitonov, S.A. Shulepin // Territory of oil and gas. 2013. No. 5. P. 80–83.
5. Korotaev Yu. P. Selected Works / Yu. P. Korotaev. М.: Nedra, 1996.
6. Jansen J.D. Numerical modeling of flow in extended stringer completions: J.D. Jansen // Research Report for Shell International E&P, TU Delft, 2000.
7. Dutcher C. S. Surface tensions of inorganic multicomponent aqueous electrolyte solutions and melts / C.S. Dutcher, A.S. Wexler, S.L. Clegg // The Journal of Physical Chemistry A. 2010. № 114, Is. 46. P. 12216–12230.
8. Gray H. E. Flowing Pressure Calculations for Gas / Condensate Wells H. E. Gray // EPR Report 855, Shell Oil Corporation, 1955.

9. Gasumov R.A. Approximation models for calculating pressure losses in wells operating with gas-liquid flows / R.A. Gasumov, V.A. Tolpaev, K.S. Akhmedov, A.M. Kravtsov, M.T. Petrosyants // Automation, telemechanization and communication. M.: VNIIOENG. 2017. No. 7. P. 32–37.
10. Mamaev V.A. The movement of gas-liquid mixtures in pipes / B.A. Mamaev, G.E. Odisharia, O.V. Klapchuk, A.A. Tochigin, N.I. Semenov // M.: Nedra, 1978.
11. Tolpaev V.A. Approximation dependence of the coefficient of supercompressibility of a gas on pressure and temperature / V.A. Tolpaev, P.V. Korchagin, S.A. Gogolev. // Automation, telemechanization and communication in the oil industry. M.: VNIIOENG. No. 12, 2013. P. 35–38.
12. Amusa Samuel. Optimal Position of the Extended Tail pipes for Liquid Removal from Gas Wells: Faculty of Aerospace Engineering TU Delft in partial fulfillment of the requirement for the degree of Master of Science / Samuel Amusa. Royal Dutch Shell, Rijswijk, Netherlands, 2009.

**Поступило в редакцию 18.05.2020,  
принята к публикации 01.06.2020.**

**Гасумов Рамиз Алиджавад-оглы** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой проектирование объектов в нефтегазовой сфере Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия.  
E-mail: r.gasumov@yandex.ru

**Гасумов Эльдар Рамизович**, кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента, Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности. Азербайджан, Баку.  
E-mail: Priemnaya@scnipigaz.ru

#### **About the authors**

**Gasumov Ramiz Alijavad-oglu**, Doctor of Technical Sciences, Professor, North Caucasus Federal University. Stavropol, Russia. E-mail: r.gasumov@yandex.ru.

**Gasumov Eldar Ramizovich**, candidate of economic sciences, Associate Professor at Management Department, Azerbaijan State University of Oil and Industry. Azerbaijan, Baku. E-mail: Priemnaya @ scnipigaz. ru.

25.00.23  
УДК 551.435.627(470.630)

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ  
И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

Разумов В.В.,  
Висхаджиева К.С.,  
Разумова Н.В.,  
Скрипчинский А.В.

Почвенный институт им. В. Докучаева, г. Москва (razumov\_vv@mail.ru);  
Московский государственный университет им. М. Ломоносова, г. Москва;  
АО «Российские космические системы», г. Москва;  
Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

## **АКТИВНОСТЬ ОПОЛЗНЕВЫХ ЗОН СТАВРОПОЛЬСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ**

Введение:

по особенностям рельефа на территории Ставропольского края выделяется несколько геоморфологических зон. Одна их них – Ставропольская возвышенность, расположенная между реками Кума, Кубань и Кумо-Манычской впадиной и характеризующаяся значительным эрозионным расчленением. Особенности гидрогеологического строения и рельефа обуславливают широкое развитие здесь оползневых процессов, которые несут угрозу для населенных пунктов и хозяйственных объектов. Целью проведенного исследования стало изучение масштабов распространения оползневых процессов и активности их проявления в оползневых зонах Ставропольской возвышенности.

Материалы и методы исследований:

главным методом данной работы стал анализ различных источников, содержащих информацию об активности проявления оползневых процессов на территории Ставропольской возвышенности. В качестве основных материалов были использованы литературные источники и опубликованные данные Центра государственного мониторинга состояния недр ФГБУ «Гидроспецгеология». В качестве вспомогательного также применялся картографический метод, позволивший наглядно отобразить распределение оползневых зон на изучаемой территории.

Результаты исследований и их обсуждение:

был проведен анализ условий активизации и распространения оползневых процессов на территории как всей Ставропольской возвышенности, так и по отдельным зонам. В ходе исследования было установлено, что основными факторами оползневых активизаций являются: атмосферные осадки, боковая эрозия постоянных и временных водотоков, изменения уровня грунтовых вод и техногенная нагрузка. Кроме того, были выделены основные типы оползней (по механизму смещения), встречающиеся на территории изучаемого региона. Это сдвиги, потоки, оползни выплывания и комбинированные. Основные оползни и потенциально-оползневые территории приурочены к западной части Ставропольской возвышенности и объединены они в 16 оползневых зон, которые характеризуются различной активностью проявления оползневых процессов и, следовательно, разной степенью оползневой опасности. К сожалению, представить полную картину развития оползневых процессов на изучаемой территории невозможно, поскольку отсутствуют материалы крупномасштабной оползневой съемки и карты (координаты) точного местоположения основных оползневых массивов в пределах Ставропольской возвышенности.

Выводы:

проведенные систематизация и анализ источников позволили оценить условия и причины образования оползней, а также масштабы их развития и режим активизации на Ставропольской возвышенности (2005-2019 гг.). За исследуемый 15-летний период наибольшее влияние на режим оползневой активности оказали природные факторы. Благодаря режимным наблюдениям была установлена степень активности оползневых процессов в разных оползневых зонах Ставропольской возвышенности. Преобладающее развитие этот процесс получил в Татарской и Прикалаусской оползневых зонах. Наиболее значимые оползневые подвижки наблюдались в 2005, 2006, 2017–2019 гг. По результатам исследования были выявлены наиболее подверженные оползневому процессам населенные пункты региона, приведены сведения о масштабах произошедших разрушений и деформаций жилых домов и хозяйственных объектов.

Ключевые слова:

оползневые процессы; оползни; оползневые подвижки; оползневые формы; активизация оползней; оползневая деятельность

Razumov V.V.,  
Viskhadzhieva K.S.,  
Razumova N.V.,  
Skripchinsky A.V.

\*Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia (razumov\_vv@mail.ru);  
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;  
Joint Stock Company «Russian Space Systems», Moscow, Russia;  
North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

## Activity of the Landslide Zones of the Stavropol Upland

### Introduction:

there are several geomorphological zones in the Stavropol Krai. One of them is the Stavropol Upland, located between the Kuma and Kuban Rivers and Kumo-Manych Depression. Due to the peculiarities of the hydrogeological and geomorphological structure the landslide processes are typically for this territory. They pose a threat to settlements and economic facilities. The purpose of the paper was to study the scale of landslide distribution and the activity of their manifestations in the landslide zones of the Stavropol Upland.

### Materials and methods of the research:

main research method was the analysis of various sources containing information on the distribution and activity of landslides in Stavropol Upland. Cartographic method was also used to visualize the landslide zones distribution in the study area.

### The results of the study and their discussion:

conditions for the activation and spread of landslide processes in the Stavropol Upland were analyzed. It was found out that the main factors of landslide activation are: atmospheric precipitation, erosion, groundwater level changes and technogenic impact. In addition, 4 main types of landslides were identified. Major landslides and potential landslide areas are confined to the western part of the Stavropol Upland and are combined into 16 landslide zones, which are characterized by different activity and landslide hazard. Unfortunately, now it's impossible to present a complete picture of landslide development in the territory under study, as there are no large-scale landslide survey materials and no maps of the exact location of the main landslide massifs within the Stavropol Upland.

### Conclusions:

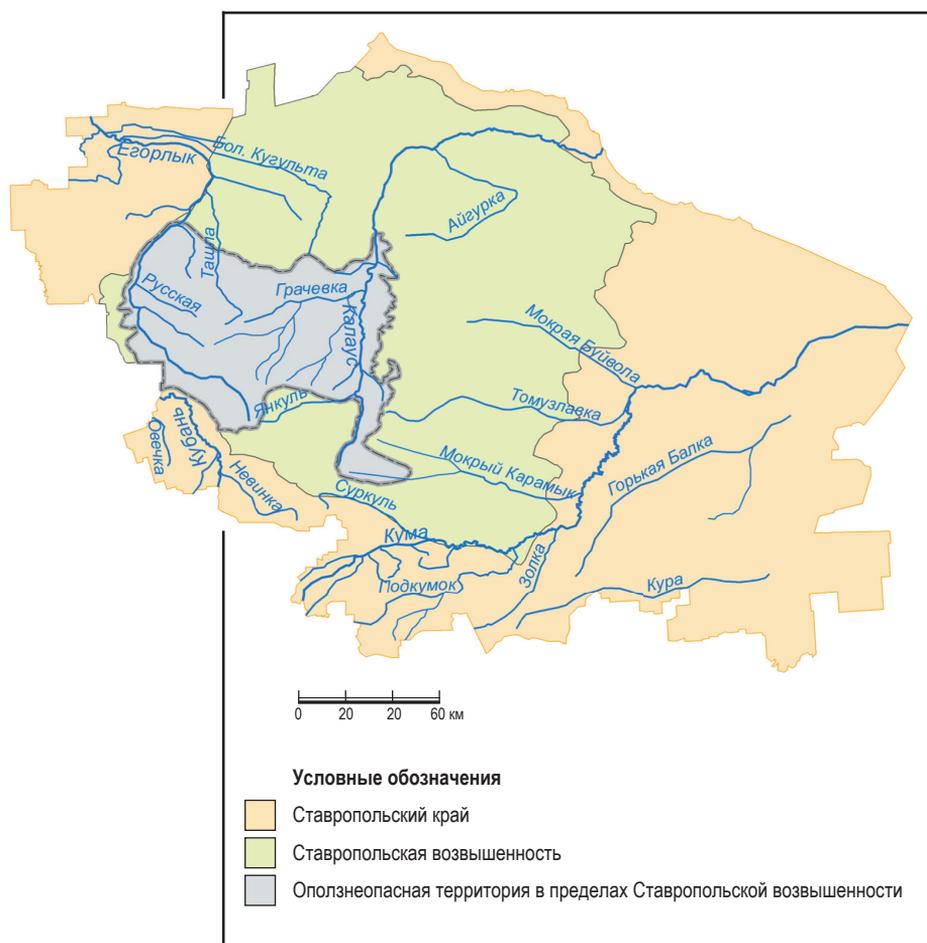
systematization and analysis made it possible to assess the conditions and causes of landslides formation, the scale of their development and their mode in the Stavropol Upland during 2005–2019. In this 15-year period, natural factors had the greatest impact on the landslide activity. The degree of landslide activity in different landslide zones of the Stavropol Upland was determined. This process was mainly developed in the Tatarskaya and Prikalausskaya zones. The most significant landslide movements were observed in 2005, 2006, 2017–2019. According to the survey results, the settlements most exposed to landslide processes were identified, and information on the scale of deformation of residential houses and economic facilities was provided.

### Key words:

landslide processes; landslides; landslide motions; landslide landforms; landslide activation; landslide activity

## ВВЕДЕНИЕ

Территорию Ставропольского края по характеру рельефа можно разделить на две крупные части: южную, предгорную (регион Кавказских Минеральных Вод), и северную, равнинную. В центральной части последней, между реками Кума, Кубань и Кумо-Манычской впадиной, располагается Ставропольская возвышенность, расчлененная широкими речными долинами и балками на столовые горы. Наиболее значимыми из них являются: Стрижамент (831 м н.у.м), наиболее высокая точка Ставропольской возвышенности; Недреманная (665 м н.у.м.), вытянутая к западу от Стрижамента на 20 км; Ставропольские высоты (660 м н.у.м).



**Рис. 1. Ставропольская возвышенность в границах Ставропольского края.**

Fig. 1. Stavropol upland within the borders of the Stavropol territory.

Ставропольская возвышенность сложена глинами, суглинками, песчаниками и известняками [12]. Грунтовые воды приурочены к подошве слоя лессовидных суглинков и к породам, их подстилающим. Глубина залегания грунтовых вод на западном склоне возвышенности составляет 10–20 м, на северном и восточном – 30–50 м, а в пролювиальных и аллювиальных отложениях и в долинах рек от 1–10 до 15–20 м [7]. Особенности гидрогеологического строения и рельефа обуславливают широкое развитие на Ставропольской возвышенности оползневых процессов (рис. 1).

**Цель** настоящего исследования – изучение масштабов распространения оползневых процессов и активности их проявления в оползневых зонах Ставропольской возвышенности. Для достижения данной цели решались следующие задачи:

- характеристика условий и причин активизации оползневых процессов, развитых на территории изучаемого региона;
- изучение масштабов распространения оползневых процессов и активности их проявления в оползневых зонах региона за 2005–2019 гг.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Главным методом данной работы стал анализ различных источников, содержащих информацию об активности проявления оползневых процессов на территории Ставропольской возвышенности. В качестве основных были использованы литературные источники и опубликованные данные Центра государственного мониторинга состояния недр (ГМСН) ФГБУ «Гидроспецгеология» [3–7]. Обобщение и систематизация собранного материала с единых методических позиций позволили достаточно достоверно оценить степень опасности и активность проявления оползневых процессов в оползневых зонах Ставропольской возвышенности. Картографические материалы были созданы в программной среде ArcGIS.

При характеристике степени оползневой активности и пораженности территории использовались их градации, разработанные специалистами Ставропольского центра государственного мониторинга природных ресурсов [7]: сильная пораженность – поражено более 25% территории, средняя – 5–25%, слабая – менее 5%. Степень активности определялась по величине отклонения площадной оползневой активности от среднемноголетнего значения: менее 25% нормы – очень низкая активность, 25–50% – низкая, 50–75% – пониженная, 75–125% – средняя, 125–150% – повышенная, 150–200% – высокая, более 200% – очень высокая.

В работе применялись данные [14] по годовым суммам осадков, выпавших на территории Ставропольской возвышенности за 2004–2019 гг. В исследовании также использовались следующие материалы (далее – Отчеты):

- отчет по объекту 60-4 «Ведение государственного мониторинга состояния недр территории Южного федерального округа в 2005–2007 гг.». Книга 1 (ЮРЦ ГМСН ФГУГП «Гидроспецгеология», Ессентуки, 2007);

- отчет о результатах работ по объекту 6-06/07 «Ведение государственного мониторинга состояния недр территории Южного федерального округа в 2008–2010 гг.». Книга 2 (ЮРЦ ГМСН ФГУГП «Гидроспецгеология», Ессентуки, 2011);
- геологический отчет по объекту «Государственный мониторинг состояния недр территории Южного и Северо-Кавказского федеральных округов в 2011–2013 гг.». Книга 2 (ЮРЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология», Ессентуки, 2013);
- геологический отчет о результатах выполненных работ по объекту «Государственный мониторинг состояния недр территории Северо-Кавказского ФО в 2014–2015 гг.». Книга 1 (ЮРЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология», Ессентуки, 2015).

Ведение государственного мониторинга состояния недр на территории Ставропольской возвышенности осуществляли, согласно [3–7] и Отчетам: в 2004–2010 гг. – Территориальный центр государственного мониторинга геологической среды (ТЦ ГМГС) по Ставропольскому краю и Кавминводский ТЦ ГМГС ОАО «Кавказгидрогеология»; в 2011–2014 гг. – ГУП СК «Ставропольский центр государственного мониторинга природных ресурсов»; а в 2015–2019 гг. – ЮРЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология».

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

#### **1. Оценка условий активизации и распространения оползневых процессов на территории Ставропольской возвышенности**

Обычно оползневые активизации на Ставропольской возвышенности начинаются в феврале-марте и достигают максимальных скоростей в апреле-мае. Их основными факторами являются: атмосферные осадки, боковая эрозия постоянных и временных водотоков, изменения уровня грунтовых вод и техногенные нагрузки. Для изучаемой территории оползнеформирующими являются осадки, рассчитанные с июня предыдущего года по май текущего [7]. Кратко охарактеризуем возможную зависимость режима оползневой активности на Ставропольской возвышенности от среднегодовых значений количества атмосферных осадков за последние 15 лет по данным [3–7, 14].

Выпадение значительного количества осадков (600 мм) в 2003 г. и исходное активное состояние оползневого процесса в 2004 г.

при благоприятном для оползнеобразования атмосферном увлажнении – 720 мм/год (на 30,5% выше нормы) – привели к значительному насыщению влагой оползневых склонов Ставропольской возвышенности в **2005 г.** Благоприятные условия обводнения определили повсеместный рост площадной активности. В пределах региона было выявлено 152 активных оползня, а сумма оползнеформирующих осадков составила 705,7 мм (на 27,6% выше нормы). Превышение нормы осадков третий год подряд явилось основным фактором, вызвавшим массовую активизацию оползневых процессов. В 1988–1990 гг. подобная ситуация также вызвала массовую региональную активизацию оползней. Дополнительным фактором, оказавшим влияние на ход оползневого процесса в 2005 г., послужил режим выпадения осадков. Так, осадки марта 2005 г. превысили норму более чем в 3 раза (99,9 мм – рекордный показатель с 1963 г.). Поскольку они выпали в период, когда травяной покров еще не сформировался, а температуры воздуха не способствовали интенсивному испарению, то существенная их часть пошла на инфильтрацию в оползневые отложения и оказала значительное влияние на повышение активности оползней. Характерно, что наиболее интенсивно активизация проявилась там, где на воздействие природных факторов накладывался техногенный.

В **2006 г.** оползневые активизации сопровождалась лишь незначительным приростом площади. Снижению активности оползней способствовали низкие значения сумм выпавших осадков. Относительно низкая оползневая активность в **2007 г.** была обусловлена пониженными относительно нормы режимобразующими природными показателями (суммы атмосферных осадков и уровни залегания грунтовых вод). На фоне общего снижения роли природных факторов в активизации оползневых процессов существенно возросла роль техногенного.

В **2008–2009 гг.** дефицит осадков в процессоопасные периоды, а также инерционность развития изучаемых процессов по отношению к режимобразующим факторам обусловили оползневую активность на уровне ниже среднеголетних значений. Так, в 2008 г. оползневая активность на территории региона была низкой, а ее абсолютный минимум наблюдался в 2009 г. Напротив, **2010 г.** выдался наиболее дождливым за последние 20 лет (740 мм), в связи с чем активность оползневых процессов оказалась выше среднеголетних показателей.

В **2011 г.** количество осадков на территории региона было близким к норме, при этом уровень оползневой активности за год снизился относительно предыдущего. В **2012 г.** выпавших осадков было меньше нормы, поэтому оползневая активность осталась практически без изменения (на низком уровне). Низкая активность оползневых процес-

сов, следуя небольшому количеству выпавших атмосферных осадков, была и в **2013 г.**

Выпадение аномального количества осадков (наибольшее за последние 50 лет) в весенне-летний процессоопасный сезон **2014 г.** привело к значительному усилению активности оползневых процессов на Ставропольской возвышенности: было зарегистрировано 98 активных оползневых форм. Активность процессов в **2015 г.** оказалась ниже среднемноголетних показателей: зафиксировано только 11 активных оползней.

Оползневая активность в **2016 г.** по сравнению с предыдущим снизилась еще больше. Самые масштабные проявления были вызваны увлажнением оползневых отложений атмосферными осадками и грунтовыми водами. В **2017 и 2018 гг.** активность оползневого процесса в целом оценивалась как низкая. В 2018 г. количество выявленных активных оползней было на 10% меньше, чем в 2017 г., а суммарная площадь активизации – на 23%. В первую очередь это связывалось с уменьшением количества выпавших осадков в процессоопасные сезоны 2018 г. относительно осадков 2016–2017 гг. В феврале и марте **2019 г.** осадков выпало выше нормы (более 125%), что обусловило довольно значительную весеннюю активизацию оползневого процесса, хотя в целом за год она была низкой.

Распространение оползней и интенсивность их активизаций в пределах региона в значительной степени определяется эрозионной расчлененностью рельефа (склоны останцовых возвышенностей, долин рек, балок, оврагов) и литологическим составом делювиально-коллювиальных и делювиально-пролювиальных отложений. Согласно [1, 9], оползневой рельеф развит в основном на юго-западных склонах Ставропольской возвышенности, где обнажены легкоразмываемые породы, и характеризуется наличием древних и молодых оползней, которые часто достигают большой величины. Оползневые склоны имеют волнисто-бугристую поверхность или, чаще всего, вид ступенчато-террасовидных уступов. На крутых склонах локальных возвышенностей, береговых откосах небольших степных рек и в бортах крупных балок встречаются единичные оползни.

Согласно данным Отчетов и [7, 9–11, 13], на изучаемой территории зафиксированы 4 основных типа оползней с различными механизмами смещений: сдвиги, потоки, выплывания и комбинированные.

#### *Оползни-сдвиги*

распространены в нижних частях склонов речных долин и по бортам оврагов и балок. Причиной их образования выступает эрозионная деятельность постоянных (речная боковая) и времен-

ных (овражная) водотоков, а на склонах Сенгилеевского водохранилища еще и абразионное воздействие по его берегам. Кроме того, оползни-сдвиги формируются за счет резкого усиления фильтрационного давления подземных вод. Спровоцировать образование оползней этого типа могут также антропогенные подрезки и пригрузки склонов. По форме преобладают циркообразные и фронтальные оползни с характерным ступенчатым рельефом поверхности. В случае слияния отдельных оползней форма становится более сложной.

#### *Оползни-потоки*

по генезису являются гидрогенными и возникают в результате пластических деформаций типа течения без захвата дочетвертичных толщ склона и, как правило, на обводненных глинистых склонах достаточной крутизны. Могут формироваться и в условиях антропогенного влияния, например, в зонах утечек из различных водонесущих коммуникаций. Мощность оползневых тел изменяется от 2–3 до 10–15 м. Рельеф оползней бугристый, мелкобугристый с натечными формами или мелкоступенчатый. По форме в плане преобладают эллипсоидальные, глетчеровидные формы и оползневые тела без ясно выраженных границ.

#### *Оползни выплывания*

образуются в результате эрозионного подмыва оснований склонов либо за счет выклинивания там грунтовых вод. Развитие этих форм приурочено к верховьям речных долин.

#### *Комбинированные оползни*

(с гидрогенным и эрозионно-гидрогенным механизмами смещения) являются самыми крупными (глубина смещения достигает 8–30 м) и образуются в процессе слияния мелких оползневых форм различного типа либо самостоятельно в результате захвата дочетвертичных отложений (обычно оползни типа сдвига, переходящие в поток).

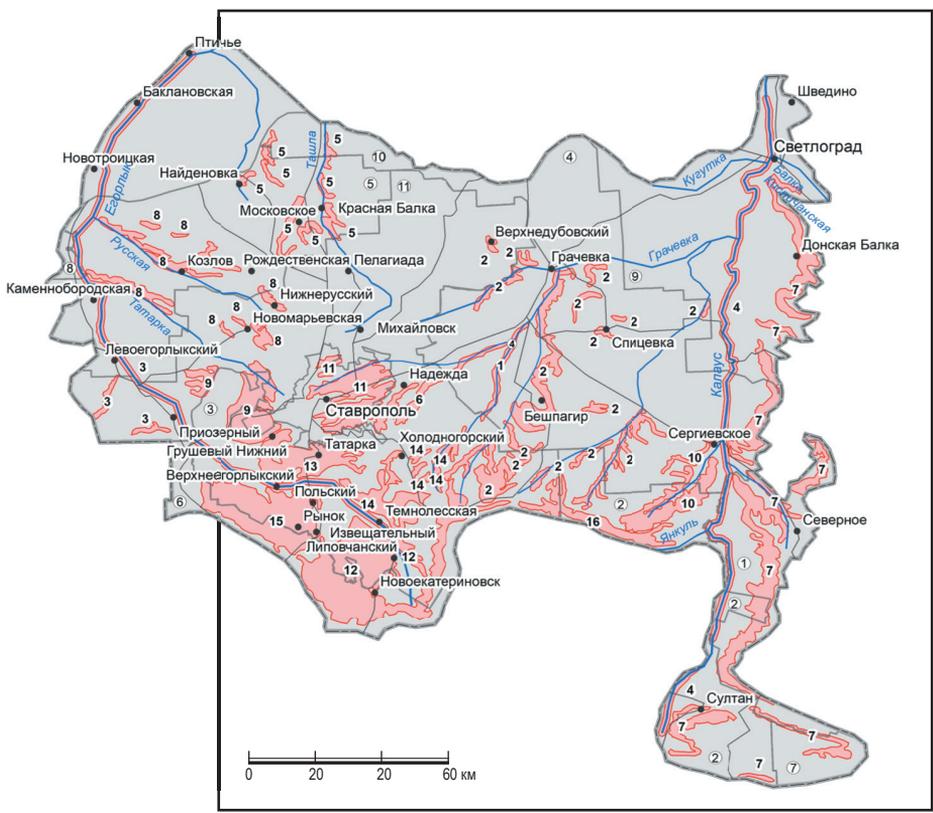
В основном оползни и потенциально-оползневые территории приурочены к западной половине Ставропольской возвышенности (Кочубеевский, Шпаковский, Андроповский, Грачевский, Александровский, Петровский, Изобильненский, Труновский и Новоалександровский районы) [2]. Участки концентрированного развития форм на потенциально-оползневых склонах Ставропольской возвышенности, согласно данным Отчетов, объединены в 16 оползневых зон (таблица, рис. 2), общая площадь которых составляет 951,85 км<sup>2</sup>. Общее количество оползней – 2127, а их суммарная площадь – 149,22 км<sup>2</sup>. Кроме

Таблица 1.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ОПОЛЗНЕВЫХ ЗОН СТАВРОПОЛЬСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

Table 1. Characteristics of landslide zones of the Stavropol Upland

Название оползневой зоны	Административные районы	Площадь зоны, км <sup>2</sup>	Количество оползней в зоне, ед.	Площадь оползней в зоне, км <sup>2</sup>	Оползневая пораженность зоны, %
Егорлыкская	Изобильненский Шпаковский	21,64	86	4,61	21
Русская Балка	Изобильненский Шпаковский	34,75	62	4,27	12
Московская	Изобильненский Труновский	23,24	30	1,65	7
Сенгилеев-ская	г. Ставрополь Шпаковский	64,10	219	7,93	12
Татарская	Шпаковский	48,79	108	6,76	14
Хребет Недреманный	Кочубеевский Шпаковский	101,75	171	15,0	15
Стрижамент	Кочубеевский Шпаковский	189,29	300	31,39	17
Темнолес-ская	Шпаковский	41,58	121	11,88	28
Мутнянская	Грачевский Шпаковский	20,09	108	4,44	22
Ставропольская	г. Ставрополь	36,41	246	7,20	20
Бешпагирская	Андроповский Грачевский Шпаковский	97,29	206	10,37	11
Сергиевская	Андроповский Александровский Грачевский	33,21	166	4,66	12
Балка Жилейка	Грачевский	5,73	22	0,27	4
Янкульская	Андроповский Шпаковский	24,08	15	0,45	2
Прикалаусская	Александровский Андроповский Грачевский Петровский	193,17	217	36,45	19
Калаусречная	Андроповский Грачевский Ипатовский Петровский	16,73	50	1,89	11
<b>Итого по 16 оползневым зонам</b>		<b>951,85</b>	<b>2127</b>	<b>149,22</b>	<b>14</b>



**Условные обозначения**

Оползневые зоны:

- 1 Балка Жилейка
- 2 Бешпагирская
- 3 Егорлыкская
- 4 Калаусречная
- 5 Московская
- 6 Мутнянская
- 7 Прикалауская
- 8 Русская Балка
- 9 Сенгилевская
- 10 Сергиевская
- 11 Ставропольская
- 12 Стрижамент
- 13 Татарская
- 14 Темнолеская
- 15 Хребет Недреманный
- 16 Янкульская

Административные районы:

- ① Александровский
- ② Андроповский
- ③ Городской округ г. Ставрополь
- ④ Грачевский
- ⑤ Изобильненский
- ⑥ Кочубеевский
- ⑦ Минераловодский
- ⑧ Новоалександровский
- ⑨ Петровский
- ⑩ Труновский
- ⑪ Шпаковский

- Реки
- Автомобильные дороги
- Населенные пункты
- Границы оползнеопасной территории в пределах Ставропольской возвышенности

**Рис. 2. Карта оползневых зон Ставропольской возвышенности.**  
Fig. 2. Map of landslide zones of the Stavropol Upland.

того, на крутых восточных склонах Прикалаусских высот, вне зон, зафиксировано еще 20 форм. Оползневая пораженность территории региона составляет в среднем 14%.

Анализ таблицы и рисунка 2 показывает, что наиболее крупными (по площади) оползневыми зонами являются Прикалаусская (193,17 км<sup>2</sup>), Стрижамент (189,29 км<sup>2</sup>) и Хребет Недреманный (101,75 км<sup>2</sup>), мелкими – Балка Жилейка (5,73 км<sup>2</sup>) и Калаусречная (16,73 км<sup>2</sup>). Наибольшее количество оползней наблюдается в оползневых зонах Стрижамент (300), Ставропольской (246), Сенгилеевской (219), Прикалаусской (217), Бешпагирской (206), а наименьшее – в Янкульской (15), Балке Жилейка (22). Самая большая площадь, занимаемая оползневыми массивами, отмечается в Прикалаусской оползневой зоне (36,45 км<sup>2</sup>) и на горе Стрижамент (31,39 км<sup>2</sup>), незначительные площади характерны для зон Балка Жилейка (0,27 км<sup>2</sup>), Янкульской (0,45 км<sup>2</sup>), Московской (1,65 км<sup>2</sup>). Наибольшая оползневая пораженность характерна для оползневых зон Темнолесской (28%), Мутнянской (22%), Егорлыкской (21%), Ставропольской (20%), наименьшая – для Янкульской (2%), Балки Жилейка (4%) и Московской (7%).

Наиболее часто оползни наблюдаются в Сенгилеевской, Татарской, Бешпагирской, Ставропольской, Мутнянской, Прикалаусской, Егорлыкской зонах и на хребте Недреманный. В связи с тем, что активность проявления оползневых процессов в Ставропольской, Мутнянской и Сенгилеевской зонах была подробно описана ранее [10], в данном сообщении они рассматриваться не будут.

## 2. Динамика активизаций в оползневых зонах Ставропольской возвышенности

При характеристике оползневых зон Ставропольской возвышенности и режима активности проявления в них оползневых процессов за последние 15 лет использовались опубликованные данные мониторинговых наблюдений [2–7] и материалы Отчетов. Ниже приводятся результаты проведенного анализа.

### Егорлыкская оползневая зона

приурочена к склонам долины р. Егорлык. Интенсивность проявления и активность развития оползневых процессов здесь в значительной степени определяются эрозионным фактором, который напрямую зависит от особенностей гидрологического режима реки, нарушаемого сбросами воды из Егорлыкского, Буферного и Новотроицкого водохранилищ. В результате проведенного в 2008 г. обследования Егорлыкской оползневой зоны было выявлено 86

оползневых форм суммарной площадью 4,61 км<sup>2</sup>, из них 16 оползней впервые закартированы и поставлены на учет. По механизму смещений в пределах зоны преобладали оползни-сдвиги, образовавшиеся за счет боковой эрозии р. Егорлык и ее притоков. Главными причинами активизации на фоне снижения региональной активности послужили речная эрозия, а также разгрузка грунтовых вод на наиболее крутых участках склонов. В зоне оползневой опасности находятся станции Каменнобродская, Новотроицкая, Баклановская и с. Птичье Изобильненского района.

Проведенное в 2013 г. инженерно-геологическое обследование водоохранной зоны р. Егорлык на участке от истока до впадения в нее р. Ерик восточнее с. Птичье (Изобильненский район) показало незначительную пораженность (1,46%) оползневыми процессами. В непосредственной близости от русла было выявлено 118 современных оползней различного генезиса, из которых 51 (31 левобережный и 20 правобережных) находился в пределах водоохранной зоны реки. Для 32 оползней основным режимобразующим фактором являлась боковая эрозия. Практически все участки развития этих оползней были приурочены к внешним краям излучин. В основном такие оползни распространены в верхнем течении р. Егорлык (от истока до ст. Темнолесской) и на отрезке между ст. Новотроицкой и с. Птичьим. По характеру смещений все эрозионные оползни являлись деляпсивными. Для 7 оползней основным фактором активизации стало увлажнение их грунтовыми водами. Эти значительные по площади (несколько км<sup>2</sup>) гидрогенные оползни с комбинированным (сдвиг+поток) или потоковым механизмом смещений в пределы водоохранной зоны попадали лишь краевыми частями языков. Один оползень образовался в устьевой части оврага, примыкающего к р. Егорлык. Фактором его образования и активизации явилась овражная эрозия, спровоцированная сбросом дренажных вод.

Наиболее значимые активизации произошли здесь в 2017–2019 гг. Так, в марте-мае 2017 г. в результате речной эрозии и обильного увлажнения склоновых массивов атмосферными осадками и подземными водами в ст. Каменнобродской активизировалось 6 оползней площадью от 1,6 до 3,6 тыс. м<sup>2</sup>. Деформаций хозяйственных объектов не наблюдалось. С мая по ноябрь 2018 г. в станции активизировалось еще три оползня. Активные подвижки (площадь – 1,0 тыс. м<sup>2</sup>) первого создали угрозу деформации моста через р. Егорлык. Смещения на втором (площадь – 7,7 тыс. м<sup>2</sup>) угрожали хозяйственным строениям, находящимся в непосредственной близости от стенки отрыва. Интенсивность и площадь (500 м<sup>2</sup>) смещений были незначительными. В непосредственной близости от стенки отрыва тре-

тьего оползня (площадь – 3,4 тыс. м<sup>2</sup>) находилась грунтовая дорога. В это же время в 1 км южнее станицы в результате переувлажнения оползневых отложений атмосферными осадками и грунтовыми водами наблюдались деформации поверхности (площадь 269,3 тыс. м<sup>2</sup>) левого склона долины р. Егорлык. Смещения средней интенсивности проявились на локальных участках в головной части оползня. Суммарная площадь активизации составила 7,3 тыс. м<sup>2</sup>. Одновременно с этим в 1,5 км южнее станицы активизировался еще один оползень (площадь – 8,6 тыс. м<sup>2</sup>), суммарная площадь активных участков составила 700 м<sup>2</sup>. Оползневая деформация склона (площадь – 89,4 тыс. м<sup>2</sup>, объем – 568,4 тыс. м<sup>3</sup>), произошедшая в результате боковой эрозии р. Егорлык в 3,3 км южнее ст. Каменнобродской, угрожала землям сельхозназначения. На северной окраине пос. Приозерного в результате боковой эрозии активизировался оползневой массив (площадь – 28,4 м<sup>2</sup>, объем – 568,4 тыс. м<sup>3</sup>). Существовала угроза вывода из оборота земель сельхозназначения.

С мая по ноябрь 2018 г. наблюдалась активизация трех оползней в ст. Новотроицкой. В зоне воздействия первого находится земельный участок по ул. Егорлыкской, д. 61. Здесь происходило переформирование рельефа (площадь – 200 м<sup>2</sup>) в головной части оползня, была угроза деформаций строений, в т.ч. жилого дома. Стенка отрыва второго оползня (площадь – 800 м<sup>2</sup>) находилась в непосредственной близости от хозяйственных строений домовладения. Оползень был активен в пределах всей площади. В непосредственной близости от стенки отрыва третьего оползня (площадь – 2,0 тыс. м<sup>2</sup>) находился станичный стадион. Суммарная площадь активизации составила 380 м<sup>2</sup>.

Результатом боковой эрозии р. Егорлык явилась активизация в 2018 г. оползня (площадь – 4,8 тыс. м<sup>2</sup>, объем – 47,7 тыс. м<sup>3</sup>, мощность – 10 м) на юго-восточной окраине ст. Баклановской, которая привела к выводу земель из хозяйственного оборота. В 4,3 км на СВ от станицы в результате боковой эрозии произошла оползневая деформация склона долины р. Егорлык (площадь – 3,9 тыс. м<sup>2</sup>, объем – 39,2 тыс. м<sup>3</sup>, мощность – 10 м). Существовала угроза вывода из оборота земель сельхозназначения. На южной окраине с. Птичьего в результате боковой эрозии активизировался эрозионно-гидрогенный оползень (площадь – 1,2 тыс. м<sup>2</sup>, объем – 11,2 тыс. м<sup>3</sup>, мощность – 10 м). Существовала угроза вывода из оборота земель сельхозназначения. В 2,0 км на ЮЗ от села наблюдалась практически аналогичная оползневая активизация (площадь – 1,3 тыс. м<sup>2</sup>, объем – 13,5 тыс. м<sup>3</sup>, мощность – 10 м).

В августе 2019 г. в ст. Каменнобродской произошли незначительные смещения на двух оползнях. На первом (площадь – 3,3 тыс. м<sup>2</sup>)

деформации затронули небольшой участок (площадь – 330 м<sup>2</sup>) в головной части. Смещения высокой интенсивности наблюдались на локальном участке (площадь – 1,8 тыс. м<sup>2</sup>) второго оползня (площадь – 3,45 тыс. м<sup>2</sup>), однако подвижки не оказали значимого воздействия на объекты инфраструктуры.

### **Татарская оползневая зона**

расположена на южных глубоко расчлененных эрозионно-денудационных склонах долины одноименной реки. Оползневому риску подвержены села Верхняя и Нижняя Татарка. В потенциально оползнеопасную зону попадает более 60 жилых домов, 1,5 км водопровода и автодорога (а/д).

Значительные суммы осадков и высокие значения уровня грунтовых вод в 2004–2005 гг. во многом определили активизацию оползней правого склона долины р. Татарки. В 2005 г. начало оползневой активности было зафиксировано в марте, а ее максимум – в апреле-мае. В этот год выявили 10 активных форм, активизация прошла без прироста оползневой площади. Наиболее активными оказались оползни комбинированного типа. Выявленные площади активизации были приурочены к зонам разгрузки подземных вод и участкам эрозионного размыва р. Татарки. Воздействие боковой эрозии, усиливающейся в период ливневых дождей, обусловило активизации в языковых зонах оползней: очаги в виде вторичных эрозионных срывов протянулись вдоль берега на расстояние до 60 м при ширине в среднем 30 м.

В 2006 г. активность оползневых процессов в зоне была низкой (25% от нормы). Весной 2007 г. параметры оползневой активности по сравнению с 2006 г. не изменились. Увеличение интенсивности смещений происходило в апреле-мае, т.е. в наиболее активный период оползнеопасного сезона. К осени активность достигла очень низкого уровня. Наблюдавшиеся подвижки были обусловлены приуроченностью к зоне постоянного увлажнения и воздействием боковой эрозии р. Татарки.

В 2008 г. оползневая активность значительно понизилась (9% от нормы) относительно предыдущего года. Активизация была выявлена только на трех оползнях. Образование новых форм и прироста их площади в 2008 г. не произошло. В двух случаях из трех причиной активизации оползневого процесса послужил техногенный фактор. В с. Верхняя Татарка вследствие водонасыщения грунтов (из-за порыва водопровода) произошли оползневые подвижки, в результате чего была деформирована проезжая часть ул. Ленина и водопровод, что привело к нарушению водоснабжения 7 домовладений. В 2009 г. оползневая ак-

тивность достигла минимального уровня (2,3% от нормы). Наблюдалось только две активных формы, образования новых и прироста площади не наблюдалось. Причиной смещений на одном из оползней являлась пригрузка его головной части большим количеством насыпных грунтов. Сохранилась угроза деформации автодороги, обеспечивающей въезд в с. Верхняя Татарка. В 2010 г. оползневая активность по-прежнему оставалась на очень низком уровне (6,8% от нормы). Деформации регистрировались на пяти оползнях. Образования новых форм и прироста площади не наблюдалось. На территории с. Верхняя Татарка, при въезде со стороны г. Ставрополя, оползнем было деформировано 20 м обочины и асфальтового полотна а/д «Ставрополь – Татарка». Существовала угроза оползневой деформации домовладений по ул. Мичурина. Активизация процесса помимо природных факторов была вызвана пригрузкой головной части оползня насыпными грунтами. В 2011 г. активизация была выявлена на четырех оползнях. Образования новых форм не произошло, прирост активной площади был зафиксирован только на одном оползне. В с. Верхняя Татарка продолжилось продвижение языка оползня к нескольким домовладениям по ул. Ленина. В непосредственной близости от языка оползня расположены также дома 48–60.

В 2014 и 2015 гг. от оползневых активизаций пострадали внутрисельские автодороги (90 м) в с. Верхняя Татарка. В 2015 г. активизировалась головная часть (площадь – 32 тыс. м<sup>2</sup>) оползневого массива. В 2016 г. произошла масштабная активизация (площадь – 81 тыс. м<sup>2</sup>), спровоцированная техногенными факторами. В с. Верхняя Татарка было деформировано 70 м асфальтированной и 250 м грунтовой дорог по ул. Ленина и 250 м телефонной линии связи. В 2017 г. в селе наблюдалась активизация 4 оползней (площадь – от 15 до 2000 м<sup>2</sup>). В результате смещений было деформировано 80 м автодороги и 100 м опор линии электропередачи (ЛЭП).

С мая по ноябрь 2018 г. в с. Верхняя Татарка в результате обильного увлажнения склонов атмосферными осадками и грунтовыми водами, а также их пригрузки насыпными грунтами произошла активизация на 4 оползнях. Результатом активизации первого оползня (площадь – 81,7 тыс. м<sup>2</sup>) явилась деформации поверхности склона и 70 м участка а/д «Ставрополь – Верхняя Татарка». Суммарная площадь активизации составила 3,2 тыс. м<sup>2</sup>. В зоне воздействия второго (площадь – 192,3 тыс. м<sup>2</sup>) располагались жилые дома, коммуникационные системы и другие хозяйственные объекты. Площадь участка активизации составила 1,0 тыс. м<sup>2</sup>. В зоне активизации третьего оползня (площадь – 3,7 тыс. м<sup>2</sup>) наблюдались деформации участка склона в пределах населенного пункта. Площадь активизации составила 1,87 тыс. м<sup>2</sup>.

**Рис. 3.**

**Наиболее крупный оползень хребта Недреманный, 2010 г. Фото Кавминводского ТЦ ГМГС ОАО «Кавказгидрогеология».**

Fig. 3. The largest landslide on the Nedremanny ridge, 2010. Photo by Kavminvodsky Territorial Center for the State Monitoring of Geological Environment "Kavkazhydrogeologiya" OJSC.

Результатом активизации четвертого оползня (площадь 12,9 тыс. м<sup>2</sup>) явились деформации (площадь 2,5 тыс. м<sup>2</sup>) склона долины р. Татарки (в левом борту в овраге и в головной части оползня).

### **Оползневая зона Хребет Недреманный**

занимает склоны одноименного хребта (рис. 3), представляющего собой платообразную останцовую структурно-денудационную возвышенность. Верхняя ее часть сложена верхнесарматскими песчано-известковистыми породами (пески и супеси с прослоями известняков). Под ними залегают глинистые, с прослоями известняков, отложения среднего и нижнего сармата. Оползневые процессы развиваются в склоновых отложениях, представленных делювиально-коллювиальным, делювиально-пролювиальным и делювиально-оползневым материалом.

Значительная активность оползневых процессов зафиксирована в пределах южного склона хребта, отличительная особенность которо-

го в том, что более 87% его оползневой площади приходится на один очень крупный оползень, образовавшийся в 1993 г. в результате катастрофической активизации, сопровождавшейся значительным приростом площади и слиянием около десяти существовавших в то время оползней. Наиболее значимым хозяйственным объектом в этом районе является федеральная а/д «А-154», пересекающая нижнюю часть зоны транзита оползня. В результате активизации 1993 г. было полностью разрушено 2 км автодороги. Столь же масштабные смещения, приведшие к повторному ее разрушению, повторились и в 1998 г. Далее последовало постепенное снижение оползневой активности до значений, близких к нулевым. В зоне риска находятся хутора Извещательный и Польский Шпаковского района.

В 2004 г. активность оползневого процесса в зоне была низкой. Очаги активизации фиксировались только на локальных участках. В 2005 г. активность регистрировалась на 7 оползнях, при этом новых форм не выявили, деформаций а/д «Кавказ» не отмечалось. В 2006 г. оползневая активизация соответствовала очень низкому уровню (8,9% от нормы) и происходила без прироста оползневой площади. В 2007 г. активность еще больше уменьшилась (7,3% нормы) по сравнению с 2006 г.

В 2009 г. фиксировался единичный локальный очаг активизации, приуроченный к выходу грунтовых вод. Площадь активизировавшегося участка составляла менее 0,1% площади оползня. На оползнеопасном отрезке пока еще действующей а/д «Кавказ» новых деформаций не фиксировалось. В 2010 г. активизации оползневых процессов не наблюдалось. В условиях временной стабилизации новых деформаций а/д «А-154», пересекающей нижнюю часть зоны транзита оползня, не было зафиксировано. В 2011–2017 гг. оползневая активность была нерегулярной и, в основном, низкой.

В мае – ноябре 2018 г. в результате переувлажнения оползневых отложений атмосферными осадками и грунтовыми водами наблюдались оползневые деформации склона в х. Извещательном. Активизация малой интенсивности (площадь – 3,5 тыс. м<sup>2</sup>) проявилась в нижней и средней частях зоны транзита большого оползня. Под его языком (площадь – 121,3 тыс. м<sup>2</sup>) находилось кафе, была угроза деформации участка автодороги. В этом же году наблюдалась активизация оползневого массива (17,5 тыс. м<sup>2</sup>) в 3 км ЮЗ х. Извещательного. На северо-восточном склоне хр. Недреманный, в 0,2 км северо-западнее х. Польского, в результате увлажнения оползневых отложений атмосферными осадками и грунтовыми водами произошла активизация крупного массива (площадь – 277,4 тыс. м<sup>2</sup>) на трех локальных участках. Ее суммарная площадь составила 22,0 тыс. м<sup>2</sup>. В 0,6 км юго-западнее

х. Польского наблюдались оползневые деформации склона (площадь – 285,3 тыс. м<sup>2</sup>) на большом количестве локальных участков. Суммарная площадь активизации составила 57,0 тыс. м<sup>2</sup>. Хозяйственных объектов в зоне оползневого риска не было. В августе 2019 г. в этом же районе наблюдалась активизация уже двух оползней. На первом (площадь – 277,4 тыс. м<sup>2</sup>) отмечалось подновление трещин на двух локальных участках в языковой части оползня на площади 19,4 тыс. м<sup>2</sup>. На втором (площадь – 285,3 тыс. м<sup>2</sup>) активизация проявилась на 4 локальных участках общей площадью 28,5 тыс. м<sup>2</sup>.

### **Бешпагирская оползневая зона**

занимает глубоко расчлененные эрозионно-денудационные склоны одноименного плато. Развитие оползней здесь происходит в современных делювиально-коллювиальных отложениях (щебнисто-глыбовые и дресвяные породы, перемятые суглинки и глины). На территории зоны преобладают мелкие оползни-сдвиги, встречаются оползни-потоки и комбинированные формы (глубина – до 20 м).

В зоне оползневого риска находятся села Бешпагир и Спицевка. Так, в северо-восточной части с. Бешпагир под языком оползня расположены около 15 домовладений по ул. Подгорной, а еще одно находится на языке этого оползня. На северной окраине села, в непосредственной близости от левого борта оползня, расположены 3–4 домовладения, которые в случае распространения оползневых активизаций в южном направлении могут быть деформированы. Севернее села в зоне высокого оползневого риска находится участок асфальтированной автодороги к сельскохозяйственному комплексу. В конце 1980-х – начале 1990-х гг. 500-метровый ее отрезок уже неоднократно деформировался оползневыми процессами. После 1998 г. развитие деформаций приостановилось. В юго-западной части с. Спицевка, в зоне высокого оползневого риска, находится 150-метровый отрезок магистрального газопровода, территории 5–7 домовладений по ул. Подгорной, воздушная линия газопровода и ЛЭП. В южной части села на теле оползня расположены 2 домовладения по пер. Ключевому, оба имеют оползневые деформации.

В марте – апреле 2005 г. было выявлено 4 активных формы. Очаги активизации были приурочены к зонам постоянной разгрузки подземных вод среднесарматского водоносного горизонта. Начиная с 2000 г., здесь фиксируется медленный подъем уровня подземных вод горизонта. Произошло увеличение площади активизации самого крупного оползня (комбинированного типа), расположенного на склоне северной экспозиции. Площадь его составила более 70% всей активной оползневой площади. Режим оползневой активности

на склоне плато западной экспозиции также определялся интенсивностью разгрузки подземных вод, которая была здесь невысокой. Образовавшийся второй оползень был активен на нескольких локальных участках. Рост активности, начавшийся в 2005 г., был отмечен значительным количеством активизировавшихся оползневых форм в 2006 г., однако уже в 2007 г. их активность значительно снизилась и составила 65% от нормы. Отмечались лишь малоамплитудные смещения на некоторых оползнях. В 2008 г. оползневая активность находилась на минимальном уровне (2% от нормы). В 2009 г. произошло некоторое ее увеличение (5,5% от нормы). Новых деформаций жилых домов, объектов инфраструктуры и других хозяйственных объектов не фиксировалось. В то же время, все объекты экономики, попавшие в зону оползневой опасности в предыдущие годы, по-прежнему находились под угрозой оползневых деформаций. В 2010 г. оползневая активность оставалась на низком уровне (8,5% от нормы). Деформации отмечались только на наиболее крупном оползне. Общего прироста оползневой площади и образования новых форм не фиксировалось, также не было выявлено и случаев деформаций жилых домов, объектов инфраструктуры и других хозяйственных объектов [2]. В 2011 г. уровень оползневой активности сохранился на прошлогоднем уровне. Деформации были выявлены только на одном, наиболее крупном оползне с комбинированным механизмом смещения. В 2012 г. активизация на нем повторилась, при этом активная площадь за год увеличилась почти вдвое. В 2014 г. от активизации оползневых процессов пострадали внутрисельские автодороги в с. Спицевка, существовала угроза оползневых деформаций домовладений. В 2015–2016 гг. оползневая активность была низкой.

В 2017 г. в с. Бешпагир в результате оползневой активизации на правом борту р. Бешпагирка образовался вал напоязания, который угрожал ЛЭП. С мая по октябрь 2018 г. в селе в результате увлажнения оползневых отложений атмосферными осадками и грунтовыми водами наблюдались деформации склона, используемого под пастбище. Суммарная площадь активизации составила 7,0 тыс. м<sup>2</sup>. В августе 2019 г. в результате разгрузки грунтовых вод оползневые деформации на массиве повторились. Суммарная площадь активизации составила 32,7 тыс. м<sup>2</sup> (3% от всей площади).

### **Сергиевская оползневая зона**

приурочена к склонам долин рек Янкуль и Калаус. На ее территории выявлено 166 современных форм суммарной площадью 4,66 км<sup>2</sup>. По результатам обследования, проведенного в 2008 г., активных оползней здесь зафиксировано не было. В 2011 г. оползневая

вые процессы частично захватили территорию 2-х домовладений, расположенных по ул. Рыльского в с. Сергиевском (Грачевский район). Существовал риск дальнейшего вовлечения в процесс домостроения села в результате пригрузки головной части оползня насыпными грунтами и бытовым мусором. В зоне высокого риска находилась и территория сельского кладбища, восточная часть которого к 2011 г. уже была разрушена оползневыми процессами. В 2016 г. в пределах с. Сергиевского активизация была зафиксирована на локальных участках двух эрозионных оползней. В мае 2017 г. в селе наблюдались две активных оползневые формы (площадью до 7,5 тыс. м<sup>2</sup>). Деформаций и разрушений строений и объектов экономики не наблюдалось. В октябре 2018 г. на одном из современных оползней села была зафиксирована активизация, частично охватившая территорию двух домовладений, расположенных по ул. Рыльского. Существовал риск дальнейшего продвижения оползня и вовлечения в процесс домостроения. В зоне высокого риска по-прежнему находились несколько домовладений и часть кладбища. Активизации оползня, расположенного на левом берегу р. Калаус, в 2018 г. не наблюдалось несмотря на то, что его язык был эродирован. В сентябре 2019 г. в с. Сергиевском была зафиксирована активизация участка оползня площадью около 1 тыс. м<sup>2</sup> (1,7% от всей площади оползня). Деформаций строений и объектов экономики не наблюдалось.

### **Прикалаусская оползневая зона**

приурочена к западным, глубоко расчлененным эрозионно-денудационным склонам Прикалаусских высот. Ее протяженность с юга на север составляет более 90 км. Оползневые процессы развиваются в современных делювиально-коллювиальных отложениях, степень увлажнения которых оказывает значительное влияние на интенсивность процессов. Для некоторых оползней зоны (около 15% от общего числа), приуроченных к бортам оврагов и балок, доминирующим фактором активизации является овражная эрозия. Особенно значительные активизации наблюдаются в северной половине зоны, в районе с. Донская Балка Петровского района, где 4 оползня создают постоянную потенциальную угрозу нескольким десяткам жилых домов в южной части села.

После катастрофической региональной активизации в Прикалаусской оползневой зоне, произошедшей в первой половине 1990-х гг., в начале 2000-х гг. здесь отмечалось снижение оползневой активности. В период с 2000 по 2004 гг. признаков активизации не было зафиксировано ни на одном из наблюдаемых оползней. В 2005 г. активность была выявлена на 6 формах, расположенных на склонах ба-

лок между селами Донская Балка и Просьянка, причем 5 из них являлись оползнями комбинированного типа. Образование новых форм в 2005 г. не фиксировалось. В 2006 г. признаков оползневой активности практически не было выявлено. В 2007 г. активизация регистрировалась на 11 оползнях.

В 2008 и 2009 гг. все наблюдаемые оползни находились в состоянии временной стабилизации. При этом продолжалась нивелировка оползневого рельефа. В с. Донская Балка деформаций жилых домов, объектов инфраструктуры и других хозяйственных объектов не отмечалось. В 2010 г. на некоторых участках появились признаки снижения устойчивости склонов, свидетельствующие о начале очередной стадии подготовки к активизации. На трех массивах были зафиксированы локальные проявления оползневых процессов, представленные пока единичными трещинами. Оползневая активность была очень низкой (0,5% от нормы). Наибольшую потенциальную угрозу десяткам жилых домов в южной части с. Донская Балка создавали 4 оползня, на двух из которых в 2010 г. были зафиксированы небольшие активизации. При этом деформаций домов, объектов инфраструктуры и других хозяйственных объектов не фиксировалось.

В 2011 г. в с. Донская Балка активизация наблюдалась на пяти оползнях. По сравнению с 2010 г. количество активных форм практически не изменилось, а площадь активизации выросла более чем в 2,5 раза. С 2012 по 2016 гг. на территории зоны отмечались нерегулярные и небольшие оползневые подвижки, при которых деформаций домов, объектов инфраструктуры и других хозяйственных объектов не наблюдалось.

22 мая 2017 г. в с. Донская Балка после обильных осадков произошла катастрофическая активизация, что привело к повреждениям коммуникаций (газопровод, водопровод, автодорога, ЛЭП) и ряда жилых домов. Была объявлена ЧС.

В 2019 г. в 1,5 км юго-восточнее с. Донская Балка отмечалась оползневая деформация 100 м дорожного покрытия в виде серии трещин, а на отдельных участках – продольная волнистость полотна и поперечные просадки.

### **Калаусречная оползневая зона**

ограничена водоохранной зоной р. Калаус. В рамках мониторинга экзогенных геологических процессов в 2011–2012 гг. проводились инженерно-геологические обследования границ этой зоны: в 2011 г. – участок реки от с. Сергиевского до г. Светлограда, в 2012 г. – от г. Светлограда до с. Воздвиженского.

В водоохраной зоне р. Калаус, на участке от с. Сергиевского до г. Светлограда, было выявлено 47 современных оползневых форм суммарной площадью более 456 тыс. м<sup>2</sup>. В сравнении с 1984–1985 гг. за последнюю четверть века на этом участке образовалось 36 новых форм, а 10 из ранее существовавших были полностью уничтожены боковой эрозией. Пораженность оползневыми процессами составляла 12,4%. Практически все выявленные формы были приурочены к внешним частям излучин р. Калаус и их активность обуславливалась преимущественно эрозионной деятельностью водотока и воздействием подземных вод. Поэтому в генетическом отношении 45 из 47 выявленных форм являлись эрозионными оползнями, а 2 – гидрогенно-эрозионными. Признаки активных смещений грунтовых масс на участке от с. Сергиевского до г. Светлограда были зафиксированы на 14 оползнях. Суммарная площадь всех активных форм составила 47 тыс. м<sup>2</sup>.

По морфологии на изучаемом отрезке долины р. Калаус преобладали оползни фронтального типа, реже встречались циркуобразные формы. По механизму большинство форм относилось к оползням-сдвига. В пределах населенных пунктов значимую роль играли техногенные факторы (пригрузка насыпными грунтами и мусором). Одним из факторов развития некоторых оползней являлось дополнительное увлажнение склонов за счет инфильтрации вод временных водотоков.

В сентябре 2019 г. в Грачевском районе, в 6,5 км северо-западнее х. Октябрь наблюдались активизация трех оползней, а в 6 км юго-восточнее х. Кугуты в правой части оползня (12,6 тыс. м<sup>2</sup>) обновилась стенка отрыва высотой 8 м.

Калаусречная оползневая зона на участке от г. Светлограда (район с. Шведино) до с. Воздвиженского пересекает центральную, северную и северо-восточную части Ставропольской возвышенности. Пораженность оползневыми процессами этого участка очень низкая (0,15%) по сравнению с участком между с. Сергиевским и г. Светлоградом. На территории изучаемого участка зафиксирован 21 современный оползень суммарной площадью около 119 тыс. м<sup>2</sup>. При этом почти все они сосредоточены на отрезке между с. Шведино и г. Ипатово. Кроме речной и овражной эрозии на режим активизации оползневых процессов существенное влияние оказывают атмосферные осадки и подземные воды, разгружающиеся в склоновые отложения долины.

В остальных оползневых зонах Ставропольской возвышенности активность оползневого процесса нерегулярна и проявляется в значительно меньшей степени, чем у вышеописанных, поэтому режимный мониторинг регулярно не проводится. В 2006 г. было выполнено обследование Московской оползневой зоны, в результате на учет поставили 10 новых форм (образовались после 1990 г.), общее число ополз-

ней достигло 30. В оползнеопасной зоне находится с. Пелагиада Шпаковского района, где в 2018 г. произошла активизация крупного оползня (площадь – 77,9 тыс. м<sup>2</sup>) и наблюдались деформации левого склона долины р. Ташла. Существовала угроза деформаций жилых домов по ул. Клубничной, линии газопровода, газовых компенсационных скважин. В 2019 г. активность на оползне сохранилась, произошли незначительные смещения в его головной части, в результате чего усилились деформации полуразрушенных строений бывших мастерских на террасе р. Ташла. Активная площадь составила 1,5 тыс. м<sup>2</sup>.

В 2006 г. было также проведено обследование оползневой зоны Русская Балка, в результате чего на учет поставили 10 новых оползней, а общее количество форм в зоне составило 62 (в т.ч. активных – 36). Результаты обследования показали увеличение оползневой площади на 54% (с 1990 по 2006 гг.), что привело к увеличению пораженности территории зоны с 3 до 6%. При этом площади отдельных оползней увеличились в 10–12 раз.

В ходе проведенного в 2007 г. (впервые после 1991 г.) обследования Темнолесской оползневой зоны было выявлено 39 активных оползней.

Низкая оползневая активность отмечается и в оползневых зонах Балка Жилейка, Янкульская, Темнолесская, Стрижамент [2]. Одна из наиболее крупных (по площади) оползневых зон региона – Стрижамент – находится на склонах самой высокой и оползнеопасной горы Ставропольской возвышенности. Эта гора вместе с хр. Недреманный образует крупный низкогорный массив с плоской вершиной и крутыми скалистыми склонами. Южные склоны горы Стрижамент осложнены многочисленными оползнями, обводненными родниками.

### **ВЫВОДЫ**

Проведенные исследования позволили оценить условия и причины образования оползней, масштабы и режим их активизации на территории Ставропольской возвышенности. На режим оползневой активности оказали влияние в основном природные факторы (атмосферные осадки, боковая эрозия рек и ручьев, уровни грунтовых вод). Активизация оползневых процессов вследствие техногенных воздействий на геологическую среду наблюдалась в некоторых населенных пунктах региона и вдоль линейных сооружений.

За последние 15 лет благодаря режимным наблюдениям была установлена степень активности оползневых процессов в разных оползневых зонах Ставропольской возвышенности. Результаты анализа динамики активизации оползней свидетельствуют об их преобладающем развитии в Татарской и Прикалаусской оползневых зонах.

Значимые оползневые подвижки за изучаемый период отмечались в 2005, 2006, 2017–2019 гг. В целом в сельской местности региона активность оползневых процессов и уровень их воздействия на объекты инфраструктуры за 2005–2019 гг. не были такими значительными, как, например, за аналогичный период в г. Ставрополе [10], но опасные и угрожающие ситуации в отдельных населенных пунктах и на объектах экономики региона возникали неоднократно.

По результатам исследования выявлены наиболее подверженные оползневым процессам населенные пункты региона, приведены сведения о масштабах произошедших разрушений и деформаций жилых домов и хозяйственных объектов.

К сожалению, отсутствие материалов крупномасштабной оползневой съемки и карт (координат) точного местоположения основных оползневых массивов в пределах Ставропольской возвышенности не позволяет в настоящее время представить полную картину развития оползневых процессов (с оценкой степени их опасности) на изучаемой территории.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Барсегян Л.А. Современные геологические процессы в ландшафтах Ставропольской возвышенности // Развитие регионов в XXI веке. Ч. 1. Владикавказ: Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова, 2013. С. 78–83.
2. Доклады «О состоянии окружающей среды и природопользовании в Ставропольском крае в 2006–2018 гг.». Ставрополь: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Ставропольского края, 2007–2019.
3. Информационные бюллетени о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2004–2018 гг. Вып. 28–42. М.: Геоинформмарк, 2005–2019.
4. Информационные бюллетени о состоянии недр территории Северо-Кавказского федерального округа Российской Федерации за 2015–2018 гг. Вып. 12–15. Ессентуки: ЮРЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология», 2016–2019.
5. Информационные сводки о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории Российской Федерации (по кварталам) за 2007–2019 гг. М.: ФГБУ ГМСН «Гидроспецгеология», 2007–2019.

6. Информационные сводки о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории Северо-Кавказского федерального округа (по кварталам) за 2006–2019 гг. Ессентуки: ЮРЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология», 2006–2019.
7. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды на территории Ставропольского края за 2005 г. Вып. 10. Железноводск: ЮРЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология», 2006. 211 с.
8. Лебедев А.А. Изменение селитебной освоенности Ставропольской возвышенности по данным дистанционного зондирования (на примере г. Ставрополя) // Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». 2015. Т. 21. С. 213–216.
9. Одер И.В., Дмитриева Е.В. Потенциальные источники чрезвычайных ситуаций природного характера на территории Ставропольского края. Ставрополь: Краевые сети связи, 2006. 88 с.
10. Разумов В.В., Богданов М.И., Богданова Н.Д., Братков В.В., Разумова Н.В. Динамика оползневой активизации в городе Ставрополе // ГеоРиск. 2019. Т. XIII. № 4. С. 32–46.
11. Разумов В.В., Лиховид А.А., Харин К.В. Распространение и опасность проявления оползневых процессов на территории Ставропольского края // Геоморфология. 2017. № 3. С. 16–29.
12. Соломонова В.А. Геоэкологический анализ Ставропольской возвышенности // Научные исследования. 2017. № 1 (12). С. 52–54.
13. Ткаченко С.С., Шевченко Д.А. Мониторинг состояния оползней на территории города Ставрополя // Вестник АПК Ставрополя. 2014. № 1 (13). С. 125–128.
14. Официальный сайт Всероссийского НИИ гидрометеорологической информации – мировой центр данных. [Электронный ресурс]. URL: [www.meteo.ru](http://www.meteo.ru) (дата обращения: 21.02.2020)

#### REFERENCES

1. Barseghyan L.A. Modern geological processes in the Stavropol Upland landscapes // Regional development in the XXI century. Part 1. Vladikavkaz: Khetagurov North-Ossetian State University, 2013. P. 78–83. (in Russ).

2. Reports “On the environment state and nature management in the Stavropol Krai in 2006–2018”. Stavropol: Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of Stavropol Krai, 2007–2019. (in Russ).
3. Information bulletins on the state of mineral resources in the Russian Federation in 2004–2018. Issues 28–42. Moscow: “Geoinformmark” LLC, 2005–2019. (in Russ).
4. Information bulletins on the state of mineral resources on the territory of the North Caucasian Federal District of the Russian Federation for 2015–2018. Issues 12–15. Essentuki: South Regional Center for the State Monitoring of Mineral Resources State FSBI “Hydrospetsgeologiya”, 2016–2019. (in Russ).
5. Information bulletins on manifestations of exogenous geological processes in the Russian Federation (by quarters) in 2007–2019. Moscow: State Monitoring of Mineral Resources State FSBI “Hydrospetsgeologiya”, 2007–2019. (in Russ).
6. Information reports on the manifestations of exogenous geological processes on the territory of the North Caucasus Federal District (by quarters) in 2006–2019. Essentuki: South Regional Center for the State Monitoring of Mineral Resources State FSBI “Hydrospetsgeologiya”, 2006–2019. (in Russ).
7. Information bulletin on the state of the geological environment on the territory of the Stavropol Krai for 2005. Issue 10. Zheleznovodsk: South Regional Center for the State Monitoring of Mineral Resources State FSBI “Hydrospetsgeologiya”, 2006. 211 p. (in Russ).
8. Lebedev A.A. Change of residential area of the territory of the Stavropol Upland by earth remote sensing (on the example of Stavropol) // Proceedings of the International conference “InterCarto. InterGIS”. 2015. Vol. 21. P. 213–216. (in Russ).
9. Oder I.V., Dmitrieva E.V. Potential sources of emergency situations of natural character in the Stavropol Krai. Stavropol: Kraevye sety svyazi. (in Russ.).
10. Razumov V.V., Bogdanov M.I., Bogdanova N.D., Bratkov V.V., Razumova N.V. Dynamics of landslide activation in the city of Stavropol // GeoRisk World. 2019. Vol. XIII. No. 4. P. 32–46. (in Russ.).

11. Razumov V.V., Likhovid A.A., Kharin K.V. Spatial distribution and risk of landslides in Stavropol Krai // Geomorfologiya. 2017. No. 3. P. 16–29. (in Russ.).
12. Solomonova V.A. Geoecological analysis of the Stavropol Upland // Scientific research. 2017. No. 1 (12). P. 52–54. (in Russ.).
13. Tkachenko S.S., Shevchenko D.A. Monitoring of the landslide condition on the territory of Stavropol city // Agricultural Bulletin of Stavropol Region. 2014. No. 1 (13). P. 125–128. (in Russ.).
14. The official site of the All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – the World Data Center. [Electronic source]. URL: [www.meteo.ru](http://www.meteo.ru) (accessed: 21 February 2020). (in Russ.).

**Поступило в редакцию 28.05.2020,  
принята к публикации 01.06.2020.**

#### **ОБ АВТОРАХ**

**Разумов Виктор Владимирович**, доктор географических наук, профессор, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева».  
ScopusID: 57191515724.  
E-mail: [razumov\\_vv@mail.ru](mailto:razumov_vv@mail.ru)

**Висхаджиева Карина Сайдовна**, инженер лаборатории снежных лавин и селей географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.  
ScopusID: 57195310882, ResearcherID: D-8950-2019.  
E-mail: [viskhadzhieva@geogr.msu.ru](mailto:viskhadzhieva@geogr.msu.ru)

**Разумова Наталья Викторовна**, кандидат географических наук, доцент, ведущий научный сотрудник АО «Российские космические системы».  
ScopusID: 57192099770,  
ResearcherID: AAI-2617-2020.  
E-mail: [razumova-nv@yandex.ru](mailto:razumova-nv@yandex.ru)

**Скрипчинский Андрей Владимирович**, кандидат географических наук, доцент кафедры социально-экономической географии, геоинформатики и туризма, института математики и естественных наук, Северо-Кавказского федерального университета.

Scopus ID: 0,

Researcher ID: S-1669-2018.

E-mail: ron1975@list.ru.

#### **ABOUT THE AUTHORS**

**Razumov Viktor Vladimirovich**, Doctor of Science in Geography, professor, leading research scientist of the Dokuchaev Soil Science Institute RAAS.

ScopusID: 57191515724.

E-mail: razumov\_vv@mail.ru.

**Viskhadzhieva Karina Saidovna**, engineer of the Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University.

ScopusID: 57195310882,

ResearcherID: D-8950-2019.

E-mail: viskhadzhieva@geogr.msu.ru.

**Razumova Natalia Viktorovna**, PhD (Candidate of Science in Geography), associate professor, leading research scientist of the “Russian space systems” JSC.

ScopusID: 57192099770,

ResearcherID: AAI-2617-2020.

E-mail: razumova-nv@yandex.ru.

**Skripchinskiy Andrey Vladimirovich**, Ph.D (Candidate of Science in Geography), associate Professor. Assistant Professor of social and economic geography, geo-Informatics and tourism, North-Caucasus Federal University, Stavropol.

Scopus ID: 0,

Researcher ID: S-1669-2018.

E-mail: ron1975@list.ru.

25.00.24  
УДК 379.851

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ,  
ПОЛИТИЧЕСКАЯ И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

Шмыткова А.В.,  
Ивлиева О.В.

Южный федеральный университет (annav1109@mail.ru),  
Ростов-на-Дону, Россия

## **ИЗУЧЕНИЕ РЕКРЕАЦИОННЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ НАСЕЛЕНИЯ ЮГА РОССИИ КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ ТУРИСТСКОГО СПРОСА В РЕГИОНЕ**

Введение:

целью исследования является анализ рекреационных потребностей населения Юга России, изучение географии туристских потоков в макрорегионе, рейтинга предпочтений туристских дестинаций, мотивов туристских поездок. Обоснована значимость изучения рекреационных потребностей населения как основного фактора, генерирующего спрос на туристские услуги.

Материалы и методы  
исследований:

исследование выполнено на основе обобщения результатов социологического опроса населения семи субъектов Юга России. Опрос был реализован с помощью онлайн-сервиса Google Forms. Данные, полученные в ходе социологического опроса, дополняют статистическую информацию и позволяют всесторонне исследовать различные аспекты туризма в макрорегионе.

Результаты исследований

и их обсуждение:

в результате были идентифицированы основные направления туристских потоков на Юге России, выявлены наиболее востребованные респондентами туристские центры, определены наиболее предпочтительные виды транспорта и типы средств размещения. Представлен анализ основных факторов, сдерживающих развитие туризма на Юге России.

Выводы:

анализ данных социологического опроса позволяет идентифицировать: соседское положение и транспортную доступность как ключевой фактор выбора дестинации для отдыха; традиционный высокий спрос на курорты Черноморского побережья Краснодарского края и формирующийся спрос на горноклиматические курорты, особенно в летний период; незначительный интерес потенциальных туристов к экскурсионным центрам равнинной части Юга России.

Ключевые слова:

Юг России, регион, туризм, рекреационные потребности, социологический опрос.

Shmytkova A.V.,  
Ivlieva O.V.

Southern Federal University (annav1109@mail.ru),  
Rostov-on-Don, Russia

## **Study of Recreational Needs of the Population of the South of Russia as a Basis for the Formation of Tourism Demand in the Region**

**Introduction:** the aim of the study is to analyze the recreational needs of the population of the South of Russia, to study the geography of tourist flows in the macroregion, the ranking of preferences for tourist destinations, and motives for tourist trips. The importance of studying the recreational needs of the population as the main factor generating the demand for tourism services is substantiated.

**Materials and methods of the research:** the study is based on a generalization of the results of a sociological survey of the population of seven subjects of Southern Russia. The survey was implemented using the Google Forms online service. The data obtained in the course of a sociological survey supplement statistical information and allow comprehensive study of various aspects of tourism in the macroregion.

**The results of the study and their discussion:** as a result, the main directions of tourist flows in the South of Russia were identified, the most popular tourist centers were revealed, the most preferred types of transport and types of accommodation establishments were determined. The analysis of the main factors restraining the development of tourism in the South of Russia is presented.

**Conclusions:** an analysis of the data of a sociological survey allows to identify: the neighboring position and transport accessibility as a key factor in choosing a destination for recreation; traditional high demand for resorts on the Black Sea coast of the Krasnodar Territory and the emerging demand for mountain climatic resorts, especially in the summer; insignificant interest of potential tourists in the excursion centers of the plain part of the South of Russia.

**Keywords:** South of Russia, region, tourism, recreational needs, sociological survey.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Туристско-рекреационный комплекс имеет исключительное значение для Юга России, во многом определяет современное макроэкономическое «лицо» региона. По мере развития туристского рынка в макрорегионе возрастает потребность в информации о потребностях, запросах, предпочтениях различных категорий потенциальных туристов.

Рекреационные потребности населения являются основными факторами, генерирующими спрос на туристские услуги [12]. Знание

рекреационных потребностей населения позволяет оценить соответствие существующего предложения имеющемуся и формирующемуся спросу на туристские услуги, обозначить потенциальные точки роста для предприятий туристской индустрии, выявить перспективные виды туризма в макрорегионе [10; 13].

Первые исследования рекреационной сферы в СССР были проведены в 60-е гг. XX в. Эти годы в истории рекреационного направления отечественной науки выделяются как период интенсивно проводившихся дифференцированных опросов, в частности – на озере Селигер и в одном из основных регионов отдыха бывшего СССР – Крыму [5]. Советские исследователи в области рекреационной географии считали, что пространственно-временная динамика рекреационных потребностей отражается на территориальных формах организации рекреационной деятельности. Поэтому изучение рекреационных потребностей представлялось необходимым для исследования сложившихся и конструирования перспективных форм территориальной организации рекреационных районов [4].

Целью современного этапа социологических исследований в туризме является изучение географии туристских потоков, рейтинга предпочтений туристских дестинаций, мотивов туристских поездок, социально-демографических характеристик туристов.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Метод социологического опроса получил широкое распространение в рекреационной географии. Специфика опроса состоит, прежде всего, в том, что при его использовании источником первичной социологической информации является человек (респондент) – непосредственный участник исследуемых социальных явлений и процессов [2]. Данные, полученные в ходе социологического опроса, дополняют статистическую информацию и картографические материалы и позволяют всесторонне исследовать различные аспекты туризма.

В 2019 г. авторами был проведен социологический опрос населения семи субъектов ЮФО и СКФО: Ростовской и Волгоградской областей, Краснодарского и Ставропольского краев, Чеченской Республики, Республик Дагестан и Калмыкия с целью изучения туристских потребностей населения Юга России. Объем выборочной совокупности составил 1118 человек, в том числе 63% женщин и 37% мужчин. По возрасту респонденты разделились следующим образом: 17–25 лет – 38,7%; 26–45 лет – 46,3%; 46–64 лет – 13,1%, старше 65 лет – 1,9%. 62% респондентов имели высшее образование, 28% являлись студентами, у 10% было среднее специальное образование.

Опрос был реализован с помощью онлайн-сервиса Google Forms.

Онлайн-исследования имеют ряд преимуществ по сравнению с другими методами: широта охвата (преодоление расстояний, доступ к различным социальным группам), высокий уровень доверия (обусловленный анонимностью онлайн-среды); строгая логика проведения опроса (программное обеспечение позволяет исключить традиционные ошибки заполнения анкеты).

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Краснодарский край – главный туристский регион Юга России, отдых, на территории которого является традиционным для населения соседних Ростовской области и Ставропольского края, свыше 90% населения которых посещали регион в течение жизни. Показательно, что только 37% респондентов из Чечни и 27% – из Дагестана посещали Краснодарский край, что может быть обусловлено их удаленностью от региона и наличием собственных рекреационных ресурсов.

Роль соседнего положения в распределении туристских потоках на Юге России ярко выражена. Так, Адыгея – популярный регион отдыха жителей соседнего Краснодарского края и близлежащих Ставропольского края и Ростовской области. 73% респондентов Краснодарского края, 61,5% – Ставропольского края и 58% – Ростовской области посещали Адыгею в течение жизни. Волгоградскую область посещали 76% респондентов из соседней Калмыкии, а саму Республику Калмыкию – 40% респондентов Волгоградской области и Ставропольского края. В Республике Дагестан в течение жизни побывало 72% респондентов из соседней Чечни, а в Карачаево-Черкесской Республике – 75% опрошенных из соседнего Ставропольского края (табл. 1).

Таким образом, ключевым фактором в распределении туристских потоков на Юге России является соседское положение и транспортная доступность.

Краснодарский край занимал первое место у респондентов всех субъектов как регион, который они планировали посетить в 2019 г., при этом доля желающих значительно варьировалась по регионам: от 13% в Республике Чечне до 65% в Ростовской области и Ставропольском крае. Кроме того, 72% респондентов Краснодарского края выразили желание отдохнуть в своем регионе.

В 2019 г. значительная часть респондентов Краснодарского края и Ростовской области собирались отдохнуть в Адыгее, а треть респондентов Ставропольского края планировала отдых в Карачаево-Черкессии (табл. 2).

Внутренний региональный туризм развит в Краснодарском крае

Таблица 1. РЕГИОНЫ ЮГА РОССИИ, КОТОРЫЕ РЕСПОНДЕНТЫ ПОСЕЩАЛИ В ТЕЧЕНИЕ ЖИЗНИ, %

Table 1. Regions of the South of Russia which respondents visited during the life, %

Регионы Юга России	Волгоградская область	Ростовская область	Ставропольский край	Краснодарский край	Чеченская Республика	Республика Дагестан	Республика Калмыкия
Адыгея	19,0	58,0	61,5	73,3	3,7	8,9	31,3
Астраханская область	49,4	13,8	23,0	12,4	25,9	15,6	62,7
Волгоградская область	88,2	40,0	41,5	32,4	16,7	13,3	76,1
Калмыкия	40,0	16,2	40,7	15,2	14,8	11,1	88,1
Краснодарский край	69,4	91,8	90,0	97,1	37,0	26,7	59,7
Ростовская область	57,6	89,2	74,8	74,3	38,9	44,4	59,7
Ставропольский край	33,0	54,4	95,6	44,8	48,1	37,8	44,8
Дагестан	4,7	11,3	21,5	9,5	72,2	77,8	13,4
Ингушетия	0	7,2	13,3	2,9	66,7	15,6	4,5
Кабардино-Балкария	27,1	30	60,7	21,9	44,4	22,2	35,8
Карачаево-Черкесия	21,2	30	75,6	34,3	14,8	15,6	23,9
Северная Осетия	9,4	17,4	31,1	10,5	38,9	15,6	6,0
Чечня	3,5	9,5	17,8	6,7	87,0	35,6	10,4
Не выезжал за пределы своего региона	2,4	2,6	0	1,9	3,7	6,7	0

Таблица 2. ВЫБОР РЕГИОНОВ ЮГА РОССИИ ДЛЯ ОТДЫХА В 2019 Г., %  
Table 2. Selection of the regions of the South of Russia for rest in 2019, %

Регионы Юга России	Волгоградская область	Ростовская область	Ставропольский край	Краснодарский край	Чеченская Республика	Республика Дагестан	Республика Калмыкия
Адыгея	5,9	28,5	8,9	20	0	4,4	14,9
Астраханская область	10,6	1,5	3,0	0	0	0	6,0
Волгоградская область	31,8	5,1	2,2	1,0	3,7	4,4	11,9
Калмыкия	2,4	1,8	3,0	1,0	0	2,2	32,8
Краснодарский край	41,2	65,1	65,2	72,4	13	17,8	32,8
Ростовская область	10,6	26,7	11,9	11,4	7,4	4,4	11,9
Ставропольский край	7,1	14,6	34,8	10,5	3,7	15,6	4,5
Дагестан	1,2	3,1	6,7	2,9	9,3	55,6	1,5
Ингушетия	0	1,3	2,2	2,9	3,7	0	1,5
Кабардино-Балкария	8,2	7,9	17,0	10,5	11,1	8,9	10,4
Карачаево-Черкесия	7,1	8,7	33,3	10,5	1,9	2,2	10,4
Северная Осетия	3,5	6,7	10,4	5,7	3,7	6,7	4,5
Чечня	1,2	2,8	4,4	3,8	46,3	11,1	7,5
Не планирую выезжать	25,9	17,9	14,1	18,1	40,7	26,7	20,9

(72,4%), Республике Дагестан (55,6%), а также Республике Чечне (46,3%), что обусловлено использованием собственных рекреационных ресурсов местным населением в туристских целях.

Несомненно, что и в будущем Краснодарский край останется лидирующим направлением на туристском рынке Юга России. Согласно результатам опроса, 62,6% респондентов Юга в будущем хотели бы отдыхать на Черноморских курортах Краснодарского края, а 39,2% на курортах Красной поляны (табл. 3). Наличие в Краснодарском крае протяженных морских побережий и уникальных горных ландшафтов,

Таблица 3.

ТУРИСТСКИЕ ЦЕНТРЫ ЮГА РОССИИ, КОТОРЫЕ РЕСПОНДЕНТЫ ХОТЕЛИ БЫ ПОСЕТИТЬ В БУДУЩЕМ ПРИ НАЛИЧИИ СРЕДСТВ, %

Table 3. Tourist centers of the South of Russia which respondents would like to visit in the future with available funds, %

Регионы Юга России	Волгоградская область	Ростовская область	Ставропольский край	Краснодарский край	Чеченская Республика	Республика Дагестан	Республика Калмыкия	Юг в целом
Курорты Черноморского побережья Краснодарского края	63,5	66,2	65,2	60,0	61,1	62,2	60,0	62,6
Курорты Азовского побережья	27,1	13,8	14,8	17,1	3,7	13,3	11,9	14,5
Курорты Каспийского побережья	27,1	22,6	24,4	26,7	13	37,8	19,4	24,4
Курорты Красной поляны	40	51,8	51,1	62,9	18,5	24,4	25,4	39,2
Курорты КМВ	44,7	58,7	37,8	58,1	35,2	42,2	32,8	44,2
Архыз	21,2	30	40,7	35,2	5,6	22,2	17,9	24,7
Горная Адыгея	29,4	44,4	20	34,3	11,1	17,8	20,9	25,4
Теберда и Домбай	36,5	41	47,4	41,9	20,4	28,9	41,8	36,8
Приэльбрусье	43,5	41	41,5	45,7	18,5	24,4	23,9	34,1
Ведучи	15,3	7,9	12,6	12,4	37	6,7	7,5	14,2
Армхи и Цори	8,2	5,1	8,1	8,6	7,4	4,4	3	6,4
Волгоград	7,1	14,4	18,5	23,8	3,7	6,7	4,5	11,2
Астрахань	12,9	6,2	8,1	16,2	3,7	6,7	3	8,1
Элиста	12,9	9	3,7	10,5	7,4	8,9	37,3	12,8
Ростов-на-Дону, Таганрог, Азов	11,8	13,6	12,6	22,9	3,7	8,9	3	11,0
Не планирую посещать	2,4	1	0	1	1,9	0	1,5	1,1

а также обширной бальнеологической базы предопределяет благоприятные возможности для развития купально-пляжного, горнолыжного, оздоровительного, экологического туризма. Кроме того, в регионе активно развивается событийный, сельский и винный туризм, а в 2018 г. Краснодарский край запустил глобальный туристический проект «Золотое кольцо Боспорского царства», объединяющий античное историко-культурное наследие южных регионов России.

На втором месте по популярности у респондентов (44% опрошенных) – Кавказские Минеральные Воды, особо охраняемый эколого-курортный регион в Ставропольском крае, занимающий лидирующие позиции на рынке санаторно-курортных и оздоровительных услуг. Регион ежегодно посещает более 1 млн чел., среди которых преобладают жители Ставропольского и Краснодарского края, Москвы, Ростовской и Волгоградской областей и Республики Дагестан.

Опрос выявил значительный интерес респондентов к горным дестинациям Юга России, к таким как: Теберда и Домбай (36,8%), Приэльбрусье (34%), Горная Адыгея (25%), Архыз (24,7%). На территории Республик Северного Кавказа расположены круглогодичные горно-климатические курорты, которые зимой привлекают горнолыжников, а летом любителей активного природно-ориентированного туризма.

Курорты Каспийского побережья в настоящее время незначительно востребованы жителями Юга России, вместе с тем четверть опрошенных выразили желание отдыхать на побережье Каспийского моря в будущем.

Туристские центры равнинной части Юга России: Волгоград, Астрахань, Элиста, Ростов-на-Дону, Таганрог были выбраны в качестве мест отдыха в будущем незначительной частью респондентов. Экскурсионные туры по этим городам имеют конечный рыночный потенциал: если отдыхать на море туристы могут ежегодно, то на экскурсию второй раз могут и не вернуться.

Ответы на вопрос «Интересен ли для Вас отдых в своем крае, области, республике?» обозначили, что внутренний региональный туризм в наибольшей степени развит в Краснодарском крае (85%), а также Чечне (76%) и Дагестане (71%). Равнинные регионы Юга России – Ростовская область, Республика Калмыкия в меньшей степени востребованы местными жителями для рекреации. 39% ростовчан и 37% калмыков отметили, что предпочитают выезжать на отдых в другие регионы России, а 14% – за рубеж, что обусловлено ограниченными ресурсами для рекреационной деятельности (табл. 4).

Оптимальными по продолжительности, по мнению 35% респондентов Южнороссийского макрорегиона, являются 3–4 дневные туры, недельные поездки выбирают 33% опрошенных, значительно мень-

Таблица 4. ИНТЕРЕСЕН ЛИ ДЛЯ ВАС ОТДЫХ В СВОЕМ КРАЕ, ОБЛАСТИ, РЕСПУБЛИКЕ?

Table 4. Is rest in your own region interesting for you?, %

	Волгоградская область	Ростовская область	Ставропольский край	Краснодарский край	Чеченская Республика	Республика Дагестан	Республика Калмыкия
да, регулярно отдыхаю в своем регионе	58,8	46,9	57,8	84,8	75,9	71,1	49,3
нет, предпочитаю выезжать на отдых в другие регионы России	34,1	38,7	27,4	7,6	13,0	22,2	37,3
нет, предпочитаю отдыхать за рубежом	7,1	14,4	14,8	7,6	11,1	6,7	13,4

Таблица 5. ВЫБОР ВИДА ТРАНСПОРТА ПРИ ПОЕЗДКАХ ПО ЮГУ РОССИИ, %  
Table 5. Selection of transport type for trips in the South of Russia, %

Вид транспорта	Волгоградская область	Ростовская область	Ставропольский край	Краснодарский край	Чеченская Республика	Республика Дагестан	Республика Калмыкия	Юг в целом
железнодорожный	43,5	32,6	6,7	31,4	11,1	13,3	1,5	20,0
воздушный	2,4	5,1	6,7	5,7	13,0	8,9	1,5	6,2
автомобильный	54,1	62,3	86,7	62,9	75,9	77,8	97	73,8

шую долю занимают 10 дневные туры – 18%. Организация программ выходного дня становится все более перспективным направлением современного туристического бизнеса в России. Внедрение новых насыщенных маршрутов на туристском рынке позволяет снизить временные и денежные затраты на отдых.

При поездках в регионы Юга России респонденты чаще всего используют автомобильный транспорт (73,8%), а воздушный транспорт выбирают в среднем 6,2% опрошенных (табл. 5). Путешествия на поездах по Югу России характерны для жителей Волгоградской (43,5%), Ростовской (32,6) областей и Краснодарского края (31,4%).

Согласно результатам опроса, отдыхая в регионах Юга России, 39% респондентов предпочитают останавливаться в квартире/частном секторе, 34% – в гостевых домах, 28,5% на базах отдыха и столько же в гостиницах 4–5\*, 17% – выбирают отдых в санаториях (табл. 6).

42,6% респондентов организуют свой отдых в регионах Юга России исключительно самостоятельно, 5% – только с помощью турфирм, при этом 52,4% опрошенных отметили, что для них возможны оба варианта в зависимости от места назначения.

На вопрос «Сколько Вы готовы тратить в сутки на отдых в регионах Юга России?» 38,7% опрошенных ответили – «менее 2 тыс. руб.», 42,6% – «от 2 до 4 тыс. руб.» и 18,7% респондентов – свыше 4 тыс. руб.

Согласно результатам опроса, 77% респондентов Юга России придерживаются распространенной формы проведения отдыха – «три S» (sun – sea – sand) – «море – солнце – песок», и предпочитают отдых на море [8]. Побережье Чёрного моря на протяжении многих лет является главным регионом туристского назначения для жителей Юга России. Традиция отдыха на Черноморском побережье у населения Юга России сложилась исторически и превратилась в своеобразную черту поведения во время летнего отдыха (табл. 7).

Опрос выявил значительный интерес респондентов к отдыху в горах летом (48%) и зимой (29%). В настоящее время на Юге России функционируют всесезонные горноклиматические курорты «Роза Хутор», «Красная Поляна», «Эльбрус», «Архыз», «Домбай», «Ведучи» и другие. Возможности для отдыха в горах Юга России летом разнообразны: скалолазание, хайкинг, треккинг, горный велосипед, конные прогулки, сплав на каяках, плотках. Показательно, что выбор гор для летнего отдыха характерен в большей степени для респондентов Краснодарского и Ставропольского краев и «страны гор» – Республики Дагестан.

Треть респондентов Волгоградской области и Краснодарского края предпочитают отдых на реке или озере. Базы отдыха, расположенные на берегах Волги, Дона, Ахтубы, Кубани, предлагают возмож-

Таблица 6.

ВЫБОР СРЕДСТВ РАЗМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ОТДЫХА  
НА ЮГЕ РОССИИ, %Table 6. Selection of accommodation establishments for rest in the South  
of Russia, %

Тип средств размещения	Волгоградская область	Ростовская область	Ставропольский край	Краснодарский край	Чеченская Республика	Республика Дагестан	Республика Калмыкия	Юг в целом
гостиницы 4–5*	21,2	30,3	42,2	32,4	31,5	28,9	14,9	28,8
гостиницы 2–3*	23,5	30,3	20	32,4	25,9	17,8	22,4	24,6
гостевые дома	34,1	44,6	37,0	34,3	22,2	17,8	49,3	34,2
хостелы	12,9	9,2	3,7	8,6	11,1	11,1	26,9	11,9
санатории	14,1	21,5	16,3	17,1	9,3	24,4	16,4	17,0
базы отдыха	25,9	23,6	35,6	18,1	37	37,8	20,9	28,4
кемпинги	20	10,3	11,1	12,4	0	6,7	4,5	9,3
квартиры/частный сектор	42,4	33,8	32,6	38,1	33,3	48,9	43,3	38,9

Таблица 7.

## ВЫБОР МЕСТА ОТДЫХА НА ЮГЕ РОССИИ, %

Table 7. Selection of places of rest in the South of Russia, %

Место отдыха	Волгоградская область	Ростовская область	Ставропольский край	Краснодарский край	Чеченская Республика	Республика Дагестан	Республика Калмыкия	Юг в целом
на море	76,5	85,4	84,4	82,9	66,7	75,6	68,7	77,2
на берегу реки/озера	34,1	25,1	25,2	34,3	22,2	20,0	25,4	26,6
в горах летом	45,9	43,6	54,1	59,0	46,3	57,8	28,4	47,9
в горах зимой	27,1	31,8	37,8	25,7	25,9	20,0	34,3	28,9
на минеральных водах	21,2	24,6	19,3	24,8	16,7	28,9	28,4	23,4
в городе	14,1	17,4	11,1	16,2	25,9	26,7	31,3	20,4
в сельской местности	34,1	11,5	11,1	21,9	9,3	17,8	14,9	17,2
в круизе	8,2	9,0	9,0	9,5	9,3	6,0	9,0	8,6

ности для спокойного отдыха на природе и рыбалки.

23% респондентов предпочитают отдых и лечение на минеральных водах. Во всех регионах Юга России есть возможности для санаторно-курортного лечения, крупнейшие бальнеологические комплексы расположены в Мацесте (Краснодарский край), в регионе Кавказских Минеральных Вод (Ставропольский край), в Нальчике (Кабардино-Балкария), в Теберде (Карачаево-Черкесия), в Серноводске-Кавказском (Чечня), на озере Эльтон (Волгоградской области) и т.д.

Главным сдерживающим фактором развития туризма на Юге России, по мнению респондентов всех субъектов, является дороговизна гостиниц – 58,8% респондентов в среднем по Югу и 70% опрошенных Краснодарского края, Ростовской и Волгоградской областей (табл.8).

Действительно, в отелях Юга России пребывание обходится значительно дороже, чем в зарубежных гостиницах. Стоимость средств размещения часто зависит от сезонности спроса конкретного туристского региона. Если по направлению короткий сезон и нет круглогодичного событийного календаря, то гостиницы, используя систему динамического ценообразования, в разы повышают цены, как только появляется спрос. Кроме того для российских гостиниц прослеживается еще одна закономерность: повышение цены как показатель высокого качества и престижности потребления услуг именно этой гостиницы, при этом корреляция между ценой и качеством присутствует не всегда.

По данным исследования сервиса онлайн-бронирования отелей Ostrovok.ru, подготовленном на основе анализа бронирований пользователей на период с 1 июня по 31 августа 2019 г., стоимость гостиниц на российских курортах летом 2019 г. оказалась значительно выше, чем в городах зарубежья [7]. Так, стоимость ночи в трехзвездочной гостинице Алушты была в три раза выше, чем в турецкой Аланье (6 тыс. руб. против 2 тыс. руб.), а стоимость ночи в отеле категории три звезды в Ялте на 38% дороже, чем в Римини (6,8 тыс. руб. против 4,9 тыс. руб.), а ночь в трехзвездочной гостинице в испанском Льорет-де-Маре (4,3 тыс. рублей) на 20% дешевле пребывания в отеле аналогичной категории в Анапе (5,3 тыс. руб).

Среди факторов, препятствующих развитию туризма в макрорегионе, 44% респондентов Юга России указали транспортную доступность (дороговизна или отсутствие авиаперелетов между городами, неудовлетворительное качество дорожного покрытия и т.д.), при этом в регионах, участвующих в опросе, данные по этому критерию значительно отличаются (табл. 8). Характерной особенностью Юга России является исторически сложившаяся асимметрия пространственного транспортного развития региона. Регионы Юга России заметно разли-

Таблица 8.

## ФАКТОРЫ, СДЕРЖИВАЮЩИЕ РАЗВИТИЕ ТУРИЗМА НА ЮГЕ РОССИИ

Table 8. Factors constraining the development of tourism in the South of Russia

Сдерживающие факторы	Волгоградская область	Ростовская область	Ставропольский край	Краснодарский край	Чеченская Республика	Республика Дагестан	Республика Калмыкия	Юг в целом
Транспортная доступность	55,3	46,7	35,6	47,6	33,3	44,4	46,3	44,2
Дороговизна проживания в гостиницах при несоответствующем качестве оказываемых услуг	69,4	69,7	64,4	70,5	48,1	44,4	44,8	58,8
Неудовлетворительное состояние экскурсионных объектов	12,9	27,9	28,9	20	20,4	20,0	35,8	23,7
Непрофессионализм работников сферы туризма и гостеприимства	25,9	19,5	35,6	33,3	22,2	13,3	29,9	25,7
Высокая стоимость пакетных туров	50,6	43,8	40,7	36,2	40,7	35,6	34,3	35,2
Недостаточная поддержка государства	36,5	28,2	31,9	22,9	31,5	35,6	37,3	32,0
Сложная криминогенная обстановка	11,8	10,0	8,9	8,6	7,4	4,4	7,5	8,4
Плохая экологическая обстановка	10,6	9,2	6,7	8,6	11,1	15,6	11,9	10,5
Неэффективный брендинг территории, недостаточный уровень рекламы	29,4	29,0	30,4	32,4	31,5	26,7	31,3	30,1
Затруднились с ответом	1,2	0	0	0	1,9	0	0	0,4

чаются по уровню развития автомобильных дорог. Наибольшую плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием имеют Республики Северного Кавказа: Ингушетия (838 км/км<sup>2</sup>), Северная Осетия-Алания (695 км/км<sup>2</sup>), Чеченская Республика (574 км/км<sup>2</sup>), тогда как в аутсайдерах: Республика Калмыкия (49 км/км<sup>2</sup>), Астраханская (89 км/км<sup>2</sup>) и Волгоградская области (144 км/км<sup>2</sup>) [6]. Регионы Юга значительно отличаются и по плотности железных дорог: показатель плотности железнодорожных путей в Краснодарском крае в два раза превышает средний показатель по Югу, тогда как в Республике Калмыкия он меньше южнороссийского в 6,5 раз [3].

Развитие туризма сдерживает и отсутствия авиасообщения между многими городами Юга России. Так, например, в летний сезон 2019 г. детский курорт Анапа не был связан авиарейсами с аэропортами других субъектов российского Юга за исключением Краснодара. А аэропорт Сочи не имел в этот период авиасообщение с Махачкалой и Грозным. Аэропорт Минеральных Вод был соединен авиарейсами на Юге России только с Ростовом-на-Дону и Сочи.

Одним из важнейших стимулов роста внутреннего туризма в стране стало создание в 2015 г. конкурентоспособного отечественного турпродукта – пакетных туров по России, включающих перелет, трансфер, проживание, питание и экскурсионные программы. Такие туры позволяют снизить затраты на путешествие на 30 до 50% по сравнению с самостоятельной поездкой. Вместе с тем, в среднем 35% респондентов Юга России отметили высокую стоимость туров как фактор, сдерживающий развитие туризма, а в Волгоградской области этот вариант ответа был выбран половиной опрошенных.

Неудовлетворительное состояние экскурсионных объектов вызывает беспокойство у 23,7% опрошенных южнороссийского макрорегиона, в большей степени у респондентов Республики Калмыкия (36%) и в меньшей степени в Волгоградской области (12,9%).

32% респондентов указали на недостаточную поддержку государства в развитии туризма на Юге России. Данный ответ был выбран 22% опрошенных в Краснодарском крае и 37% – в Республике Калмыкия.

По мнению 30% респондентов, развитие туризма на Юге России сдерживает неэффективный брендинг территорий. Успешный бренд, несомненно, является мощным инструментом, обеспечивающим конкурентное преимущество [9; 11; 14]. Именно брендинг выступает одним из важнейших способов идентификации территории, выделения ее среди других регионов, привлечения к ней внимания потенциальных потребителей. Брендинг территории неразрывно связан с процессом повышения ее конкурентоспособности, так как бренд по сво-

ей природе является демонстрацией и гарантом конкурентных преимуществ [1].

В Краснодарском крае и Ростовской области были разработаны маркетинговые стратегии развития туризма как системы брендинга муниципальных образований. На основании экспертных фокус-групп и опросов жителей муниципальных образований был вербализован туристический потенциал регионов. Так, например, визуальная идентичность бренда Ростовской области «Вольный Дон» строится на ландшафте региона, который представлен в виде лоскутного одеяла, а главным элементом бренда стало изображение коня на красном фоне. «Дагестан. Горы неизведанного» является зонтичным туристско-инвестиционным брендом Республики Дагестан, включающий в себя суббренды наиболее привлекательных туристических центров региона – Махачкалы, Дербента и Гуниба. Графическое выражение бренда Чеченской Республики «Земля героев» реализовано в знакомых представителю российского и зарубежного мира знаках мечеть, полумесяц как символы веры и борода как символ мужественности и независимости. Вместе с тем, недостаточно создавать привлекательные визуальные и вербальные образы – нужно еще и грамотно вести дальнейшую работу по их внедрению и продвижению.

Только 10,5% респондентов в качестве сдерживающего фактора отметили экологическую обстановку. Данные по этому критерию коррелируются с результатами «Экологического рейтинга 150 городов России (по оценкам местных жителей)», где 9 мест из первых 10 по экологическому благополучию занимают города Юга России – Анапа, Геленджик, Сочи, Майкоп, Армавир, Нальчик, Ейск, Ставрополь, Пятигорск. В то же время 15,6% респондентов Дагестана назвали среди сдерживающих факторов – экологический, Махачкала в указанном рейтинге экологического благополучия оказалась лишь на 135 месте.

## ВЫВОДЫ

Результаты социологического опроса содержат данные, позволяющие выявить географические особенности туристского спроса населения Юга России, и с большой мерой научного обоснования подойти к планированию процесса развития туристской сферы в макрорегионе.

Проведённое социологическое исследование позволяет идентифицировать:

- соседское положение и транспортную доступность как ключевой фактор выбора дестинации для отдыха;
- традиционный высокий спрос на курорты Черномор-

- ского побережья Краснодарского края и формирующийся спрос на горноклиматические курорты, особенно в летний период;
- незначительный интерес потенциальных туристов к экскурсионным центрам равнинной части Юга России.

Изучение рекреационных потребностей населения позволит в будущем внедрить новые туристские программы, которые будут соответствовать потребительским ожиданиям, обеспечить соответствие спроса и предложения и соответственно повысить конкурентоспособность туристского продукта в регионе.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Воронцова Г.В., Левданская Н.Е. Использование инновационных инструментов маркетинга территории // Наука. Инновации. Технологии. 2013. №2. С. 107–116.
2. Горшков, М.К., Шереги, Ф.Э. Прикладная социология: Учебное пособие для вузов. М., 2003.
3. Ивлиева О.В., Шмыткова А.В. Территориальная организация туристской инфраструктуры на Юге России // Наука. Инновации. Технологии. 2019. №3. С. 63–76.
4. Мироненко Н.С., Твердохлебов И.Т. Рекреационная география. М. : Изд-во Московского университета, 1981.
5. Шмыткова, А.В. Изучение рекреационных потребностей как основы формирования туристского продукта (на примере Ростовской области) // Экономико-географический вестник Южного федерального университета. 2008. №5.
6. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]: официальный сайт. URL: <http://gks.ru> (дата обращения: 20.12.2019).
7. Электронное периодическое издание «Ведомости» [Электронный ресурс]: официальный сайт. URL: [https://www.vedomosti.ru/press\\_releases/2019/06/05/ostrovokrusravnil-vo-skolko-oboidetsya-turistam-letnii-otdih-v-rossii-za-rubezhom](https://www.vedomosti.ru/press_releases/2019/06/05/ostrovokrusravnil-vo-skolko-oboidetsya-turistam-letnii-otdih-v-rossii-za-rubezhom) (дата обращения: 15.12.2019).
8. Aguilo E., Alegre J., Sard M. The persistence of the sun and sand tourism model // Tourism Management. 2005. Vol. 26, pp. 219–231.
9. Boo S., Busser J. and Baloglu S. A model of customer-based

- brand equity and application for multiple destinations // *Tourism Management*. 2009. Vol. 30. pp. 219–231.
10. Chon K.S. Understanding recreational travelers' motivation, attitude and satisfaction // *The Tourist Review*. 1989, Vol. 44. No. 1, pp. 3–6.
  11. Chon K.S., The Role of destination image in tourism: a review and discussion// *The Tourist Review* 1990, Vol. 45, No. 2, pp. 2–9.
  12. Davis D.J., Allen J., Crosenza R.M. Segmenting local residents by their attitudes, interests and opinions toward tourism // *Journal of travel research*. 1988. Vol. 27, pp. 2–8.
  13. Etzel M. J., Woodside A. G. Segmentation vacation markets: the case of the distant and near-home travelers// *Journal of travel research*. 1982. No 20(4), pp. 10–14.
  14. Tasci A.D.A., Gartner, W.C., Cavusgil, S.T. Measurement of destination brand bias using a quasi-experimental design // *Tourism Management*. 2007. Vol. 28, pp. 1529–1540.

#### REFERENCES

1. Vorontsova G.V., Levanskaya N.E. The use of innovative tools for marketing the territory // *Science. Innovation. Technology*. 2013. No 2, pp. 107–116. (in Russ).
2. Gorshkov M. K, Sheregi F. E. *Applied Sociology: Textbook for universities*. M., 2003. (in Russ).
3. Ivlieva O. V., Shmytkova A. V. The territorial organization of tourist infrastructure in the South of Russia // *Science. Innovation. Technology*. 2019. No 3, pp. 63–76. (in Russ).
4. Mironenko N. S., Tverdokhlebov I. T. *Recreational geography*. M.: Moscow University Press, 1981. (in Russ).
5. Shmytkova, A. V. The study of recreational needs as the basis for the formation of a tourist product (the example of the Rostov region) // *Economic and Geographical Bulletin of the Southern Federal University*. 2008. No 5. (in Russ).
6. Federal State Statistics Service [Electronic resource]: official site. URL: <http://gks.ru> (accessed date: 20.12.2019). (in Russ).
7. Electronic periodical "Vedomosti" [Electronic resource]: official site. URL: [https://www.vedomosti.ru/press\\_releases/2019/06/05/ostrovokru-sravnil-vo-skolko-oboidentsya-turistam-letnij-otdih-v-rossii-i-za-rubezhom](https://www.vedomosti.ru/press_releases/2019/06/05/ostrovokru-sravnil-vo-skolko-oboidentsya-turistam-letnij-otdih-v-rossii-i-za-rubezhom) (accessed date: 15.12.2019). (in Russ).
8. Aguilo E., Alegre J., Sard M. The persistence of the sun and

- sand tourism model // *Tourism Management*. 2005. Vol. 26, pp. 219–231.
9. Boo S., Busser J. and Baloglu S. A model of customer-based brand equity and application for multiple destinations // *Tourism Management*. 2009. Vol. 30. pp. 219–231.
  10. Chon K.S. Understanding recreational travelers' motivation, attitude and satisfaction// *The Tourist Review*. 1989, Vol. 44. No. 1, pp. 3–6.
  11. Chon K. S., The Role of destination image in tourism: a review and discussion// *The Tourist Review* 1990, Vol. 45, No. 2, pp. 2–9.
  12. Davis D. J., Allen J., Crosenza R. M. Segmenting local residents by their attitudes, interests and opinions toward tourism // *Journal of travel research*. 1988. Vol. 27, pp. 2–8.
  13. Etzel M. J., Woodside A. G. Segmentation vacation markets: the case of the distant and near-home travelers // *Journal of travel research*. 1982. No 20(4), pp. 10–14.
  14. Tasci A.D.A., Gartner, W.C., Cavusgil, S.T. Measurement of destination brand bias using a quasi-experimental design// *Tourism Management*. 2007. Vol. 28, pp. 1529–1540.

**Поступило в редакцию 16.04.2020,  
принята к публикации 01.06.2020**

#### **ОБ АВТОРАХ**

- Ивлиева Ольга Васильевна**, доктор географических наук, профессор кафедры туризма Южного федерального университета, ivlieva.o@mail.ru, тел. +79185813297. Researcher ID D–2227–2019, Scopus ID 6507384454
- Шмыткова Анна Валериевна**, старший преподаватель кафедры туризма Южного федерального университета, annav1109@mail.ru, тел. +79508432399.

#### **ABOUT THE AUTHORS**

- Ivlieva Olga Vasilievna**, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Department of Tourism, Southern Federal University, ivlieva.o@mail.ru, tel. + 79185813297. Researcher ID D–2227–2019, Scopus ID 6507384454.
- Shmytkova Anna Valerievna**, Senior Lecturer, Department of Tourism, Southern Federal University, annav1109@mail.ru, tel. +7 9508432399.

25.00.24  
УДК: 338.48

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ  
И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

**Щербакова С.А.**

Смоленский государственный университет, г. Смоленск, Россия,  
sollos@mail.ru

**ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА МЕЖСТОЛИЧЬЯ  
НА ТЕРРИТОРИАЛЬНУЮ ОРГАНИЗАЦИЮ  
ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РОССИЙСКО-  
БЕЛОРУССКОМ ПРИГРАНИЧЬЕ**

Введение:

приграничное сотрудничество, которое в силу отсутствия значимых барьеров и высокой «прозрачности» границы, её контактной функции активно развивается в сфере туризма, особенно интересные перспективы складываются в сфере туризма в приграничных регионах России и Беларуси. Российско-белорусское приграничье обладает разнообразным культурно-историческим и природным потенциалом, который слабо используется в туристской сфере двух стран. Выдвигается предположение, что именно приграничные регионы России и Беларуси (Смоленская, Витебская и Могилевская области) в силу невысокой барьерной функции границы в настоящее время в большей степени испытывают межстоличный эффект, влияющий на развитие их туристско-рекреационной деятельности.

Материалы и методы исследований:

теоретические положения подкрепляются актуальными статистическими данными и иллюстрируются примерами из отечественной и зарубежной практики на национальном, региональном и локальном уровнях. В статье представлены результаты экспертных интервью, проведенных как на территории России, так и на территории Беларуси.

Результаты исследований

и их обсуждение:

в исследовании акцентируется внимание на выявлении новой туристской роли российско-белорусского приграничья в системе отношений двух стран. Констатируется, что современное состояние туристско-рекреационной деятельности российско-белорусского приграничья в значительной степени является результатом воздействия на него крупнейших мегаполисов двух стран.

Выводы:

эффект межстоличья неоднозначно влияет на развитие туристско-рекреационной деятельности в регионах российско-белорусского приграничья. С одной стороны, повышаются возможности, позволяющие приграничью привлекать и наращивать ресурсы для развития туристской отрасли, а с другой стороны, потенциал туристской отрасли в приграничье заметно отстаёт, что усиливает инфраструктурные проблемы развития туризма и оттягивание туристских потоков в столичные регионы.

Ключевые слова:

туризм, туристско-рекреационная деятельность, российско-белорусское приграничье, межстоличье

**Sherbakova S.A.** Smolensk State University, Smolensk, Russia  
sollos@mail.ru

### **Influence of the Effect of Interstates on the Territorial Organization of Tourist and Recreational Activities in the Russian-Belarusian Border Area**

**Introduction:** cross-border cooperation, which due to the absence of significant barriers and the high «transparency» of the border, its contact function is actively developing in the field of tourism, especially interesting prospects are emerging in the tourism sector in the border regions of Russia and Belarus. The Russian-Belarusian border area has a diverse cultural, historical and natural potential, which is poorly used in the tourism sphere of the two countries. It is suggested that it is the border regions of Russia and Belarus (Smolensk, Vitebsk and Mogilev regions) that, due to the low barrier function of the border, are currently experiencing a greater interstellar effect that affects the development of their tourist and recreational activities.

**Materials and methods  
of research:** theoretical statements are supported by up-to-date statistical data and illustrated by examples from domestic and foreign practice at the national, regional and local levels. The article presents the results of expert interviews conducted both in Russia and in Belarus.

The results of the study and their discussion: the study focuses on the identification of a new tourist role of the Russian-Belarusian border area in the system of relations between the two countries. It is stated that the current state of tourism and recreation activities in the Russian-Belarusian border area is largely the result of the impact on it of the largest megacities of the two countries.

**Conclusions:** the effect of the interstellar zone has an ambiguous effect on the development of tourist and recreational activities in the regions of the Russian-Belarusian border area. On the one hand, the opportunities that allow the border region to attract and increase resources for the development of the tourism industry are increasing, and on the other hand, the potential of the tourism industry in the border region is noticeably lagging, which increases the infrastructure problems of tourism development and delays tourist flows to the capital regions.

**Keywords:** tourism, tourist and recreational activities, the Russian-Belarusian borderland, mistlite

### **ВВЕДЕНИЕ**

Мировой опыт развития туризма и разнообразие форм трансграничного сотрудничества позволяет оптимистично рассматривать перспективы туристско-рекреационной деятельности в российско-белорусском приграничье.

Межстоличье в данном исследовании обозначается как пространство между столичными городами Москва-Минск, обладающее повышенной ценностью, а его социально-экономическое развитие предполагает

взаимный учет интересов как столичных городов, так и межстоличных территорий.

В контексте туризма столичные и межстоличные регионы российско-белорусского приграничья (особенно, Псковская, Смоленская, Витебская и Могилевская области) являются основными районами туризма, которые принимают значительные потоки туристов. При этом межстоличные регионы относятся к проблемным типам туристских регионов, а столичные агломерации выступают в роли суперцентров туристского пространства, их темпы роста превосходят, как правило, темпы роста областных центров. Тем не менее, неоиндустриальная эпоха меняет не только социально-экономическую, но и туристско-рекреационную миссию крупных агломераций, столичных городов, малых городов и сельской местности.

В связи с этим российско-белорусское приграничье нуждается в грамотном развитии территориальной структуры и модернизации туристско-рекреационной деятельности. Следовательно, необходимо проанализировать пространственную организацию туристско-рекреационной деятельности в российско-белорусском приграничье, определить особенности и перспективы развития туризма в условиях межстоличья.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

В отечественной литературе феномену «межстоличья» посвящено немного работ, в которых, в основном, раскрыты проблемные вопросы пространственной организации территории между Москвой и Санкт-Петербургом [Нефедова Т.Г., Трейвиш, 2013; Окунев И.Ю., 2017].

Именно, пространство между столичными городами обладает повышенной туристской ценностью и его развитие предполагает взаимный учет интересов как столичных городов, так и межстоличных территорий [Яськова Т.И., 2014; Яковлева С.А., 2017].

Изучение развития туризма российско-белорусского приграничья в контексте межстоличья в данном исследовании основывается на теоретических положениях рекреационной географии и особенностей пространственного развития в контексте кластерной модели. Опираясь на фундамент классической рекреационной географии, которая позволяет понять системную сущность пространства и выявить закономерности и особенности его развития, в том числе в приграничных регионах [Мироненко, Твердохлебов, 1981; Мажар, 2014].

Развитие туризма на основе кластерного подхода, в том числе в российско-белорусском приграничье, часто привлекло внимание исследователей, которые выделяют кластерные инициативы как ключевое направление развития туризма [Афанасьев О.Е., 2016; Щербакова, 2017].

Российско-белорусское приграничье как особый территориально-географический регион имеет мощный интеграционный социально-экономический потенциал, значительные возможности для развития сферы туризма, а также способствует внедрению инновационного туристского продукта и формированию устойчивого туристского спроса [Катровский А.П. и др., 2017; Земляк С.В. и др., 2018; Мажар Л.Ю., Щербакова С.А., 2018].

Транспорт играет важную роль в развитии массового туризма, обеспечивая связность территории, что показало исследование особенностей развития туризма в приграничных с Республикой Беларусь российских регионах [Транспорт и развитие туризма., 2019].

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Туристско-рекреационная деятельность для российско-белорусского приграничья является весьма перспективным направлением социально-экономического развития. Туризм рассматривается как одна из наиболее эффективных отраслей экономики, способных играть роль драйвера социально-экономического развития регионов [Saarinen J., Rogerson С.М., Hall М., 2017]. Неоспоримые преимущества туризма связаны с тем, что он имеет огромный мультипликативный эффект и обширную ресурсную базу, формирующую туристско-рекреационный потенциал территории. В качестве туристско-рекреационных ресурсов могут рассматриваться как природные объекты (от бальнеологических ресурсов до эстетичных или уникальных ландшафтов), так и объекты историко-культурного наследия, этно-культурные особенности территорий, усадьбы и архитектурные ансамбли, памятники военной истории, места сражений, памятные места, связанные с жизнью и деятельностью выдающихся людей, производственные объекты прошлых эпох, а также музеи, выставочные комплексы, парки развлечений и т.д.

Большинство туристов, посещающих приграничные области с российской стороны, приезжают из столичных агломераций, на долю которого приходится более 70% всего объема внутреннего туристского потока. Поскольку развитие туризма в российско-белорусском приграничье происходит в контексте ориентирования на внутреннего и въездного потребителя, то весь туристско-экскурсионный поток, прибывающий в российско-белорусском приграничье, можно разделить на 3 основные группы:

1. Туристы и экскурсанты из соседних регионов;
2. Туристы и экскурсанты из Москвы и Минска;
3. Иностранцы туристы.

Основными целями внутреннего туриста, приезжающего в российско-белорусское приграничье являются культурно-познавательный-туризм, встреча с родственниками и друзьями, дачный туризм, сельский и агротуризм, лечебно-оздоровительный и медицинский туризм, событийный туризм, а также паломничество (табл. 1).

По данным Федеральной службы государственной статистики, суммарный номерной фонд коллективных средств размещения в российской части приграничья по итогам 2018 г. составил 11,2 тыс. номеров, при единовременной вместимости 27,5 тыс. мест<sup>1</sup>.

В 2018 г. город Москва и Московская область совместно приняли 27,2 млн туристов, что составило около 30% всех туристских прибытий. По Итогам Национального туристского рейтинга (2018 и 2019 гг.), который оценивает развитие туристской отрасли российских регионов, город федерального значения Москва является бессменным лидером рейтинга.

По-прежнему по многим критериям Москва значительно опережает другие туристские регионы, являясь столицей культурно-познавательного, делового и событийного туризма [Александрова А.Ю., 2015; 2020]. У столицы самые высокие показатели по количеству размещенных в гостиницах российских и иностранных граждан и обороту общественного питания. В 2019 г. по Индексу уровня глобализации городов мира Москва занимает 18 место из 130 глобальных городов мира<sup>2</sup>. В этом же 2019 г. Москва выиграла престижную премию World Travel Awards в номинации «Лучшее туристское направление. Город». В Москве находится значительное количество культовых достопримечательностей, а также флагманских или ядерных аттракций, которые имеют международную известность и формируют особо крупные потоки туристов и экскурсантов (например, Московский Кремль ежегодно посещают более 3 млн. чел)<sup>3</sup>. «Перенасыщение» туристами массовых объектов показа приводит к различного рода проблемам – начиная от психологических неудобств до повышенной криминальной опасности. В связи с этим, весьма целесообразно будет рассмотреть возможность диверсификации турпотоков по регионам Центральной России, особенно,

- 1 Национальный туристский рейтинг. Электронный ресурс: <https://rustur.ru/nacionalnyj-turisticheskij-rejting-2019> (дата обращения: 15.05.2020).
- 2 Рейтинг глобальных городов. Электронный ресурс: <https://nonews.co/wp-content/uploads/2019/06/GC2019.pdf> (дата обращения: 15.05.2020).
- 3 ТАСС. Электронный ресурс: <https://tass.ru/moskva/7514047> (дата обращения: 15.05.2020).
- 4 Ростуризм (Московская область). Электронный ресурс: <https://www.russia-tourism.ru/regions/?fedokr=109&freg=216> (дата обращения: 15.05.2020).

ТАБЛИЦА 1. ОСНОВНЫЕ ЦЕЛИ ПРИБЫТИЯ ТУРИСТОВ  
В РОССИЙСКО-БЕЛОРУССКОЕ ПРИГРАНИЧЬЕ

Место	Цели прибытия туристов в приграничные области России	Место	Цели прибытия туристов в приграничные области Беларуси
1.	Встреча с родственниками и друзьями	1.	Событийный туризм
2.	Культурно-познавательный туризм	2.	Встреча с родственниками и друзьями
3.	Развлечения и шоппинг	3.	Развлечения и шоппинг
4.	Событийный туризм	4.	Культурно-познавательный туризм
5.	Экологический туризм и паломничество	5.	Лечебно-оздоровительный и медицинский туризм

Источник: составлено автором в ходе экспертного опроса.

пристоличным и межстоличным регионам.

В частности, туристский потенциал Московской области незначительно используется в туристской деятельности пристоличья, несмотря на близость к самому главному туристскому центру страны и богатому туристскому потенциалу (в городах Подмосковья сосредоточено 20% всех культурно-познавательных ресурсов России<sup>4</sup>). Пристоличное положение городов Подмосковья оказывает существенное влияние на их социально-экономическое развитие. С одной стороны, территориальная близость способствует слиянию подмосковных районов с ядром агломерации (некоторые города Московской области интегрированы с ним теснее, чем некоторые части самой Москвы). Это создает возможность совместного использования туристско-рекреационных ресурсов, участия в Федеральных целевых программах в сфере туризма и др. С другой стороны, Москва как мощный туристский центр оттягивает основной туристский поток.

В 2018 г. суммарный объем туристского потока на территорию российско-белорусского приграничья составил около 1 млн туристских прибытий (табл. 2). Необходимо отметить, что этот год стал исключительным для туризма в России – в результате проведения Чемпионата мира по футболу в стране общее количество посещений превысило 60 млн человек. Тем не менее, это мировое событие никак не отразилось на эффективности туристской деятельности приграничных областей, поскольку совершенно не был использован туристско-транзитный потенциал регионов. Так, в Смоленской области, накануне Чемпионата, был закрыт пропускной пункт «Красная горка» на учас-

Table 1. MAIN GOALS OF TOURISTS ' ARRIVAL IN THE RUSSIAN-BELARUSIAN BORDER AREA

Место	Цели прибытия туристов из Московской агломерации в области российско-белорусского приграничья	Место	Цели прибытия туристов из Минской агломерации в области российско-белорусского приграничья
1.	Культурно-познавательный туризм	1.	Культурно-познавательный туризм
2.	Дачный туризм	2.	Агротуризм
3.	Встреча с родственниками и друзьями	3.	Встреча с родственниками и друзьями
4.	Медицинский туризм	4.	Событийный туризм
5.	Событийный и экологический туризм	5.	Экологический туризм

тке федеральной трассы М-1 для проезда представителей всех стран мира (кроме Беларуси).

В 2018 г. удельный вес столицы Беларуси – города Минска в экспорте туристских услуг страны составил 54,3%. Увеличению количества иностранных туристов, в том числе поспособствовало в 2017 г. введение 5-дневного, а затем и 30-дневного безвизового режима для граждан 80 стран мира. Также столица характеризуется самым низким уровнем риска для туристов. Самые популярные виды туризма в столичном регионе – событийный, деловой и медицинский туризм.

Для удобства туристов, посещающих столицу разработан проект «Карта гостя» со сроком действия от 24 часов до 12 месяцев, которая предоставляет право на бесплатное посещение 11 музеев и зоопарка, скидки до 50% на посещение еще более 30 объектов – музеев, экскурсий, аквапарка, скидки до 20% в отелях, ресторанах, кафе, магазинах и на прокат автомобилей.

Минская область специализируется на лечебно-оздоровительном, медицинском и агроэкотуризме и является лидером по количеству санаториев и агроусадб в Беларуси. В 2018 г. гостей приняли 156 санаторно-курортных учреждений, 42 охотничьих комплекса, 62 гостиницы, 704 субъект агроэкотуризма, расположенные в Минской области<sup>1</sup>.

Основными потребителями туристских услуг в Минской области являются жители столицы Беларуси, которые составляют примерно

1 Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Электронный ресурс: <https://www.belstat.gov.by> (дата обращения: 7.05. 2020).

Таблица 2. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАЗВИТИЯ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ПРИГРАНИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ И СТОЛИЧНОМ РЕГИОНЕ РОССИИ, 2018 г.  
Table 2. Main indicators of tourist and recreational activity development in the border regions and the Russian capital region, 2018

Показатели	Россия, всего	Москва	Московская обл.	Псковская обл.	Смоленская обл.	Брянская обл.
Количество туристов и экскурсантов, млн чел.	60	23,5	3,7	0,4	0,3	0,24
Количество гостиниц и аналогичных средств размещения, единиц	28072	1593	603	126	125	119
Количество номеров, тыс.	975,1	99,2	39,4	3,8	4,0	3,4
Количество мест, тыс.	2414,5	247,4	96,8	9,8	8,2	9,5
Количество ночевок, тыс.	278983,7	48929,3	13693,0	1103,8	823,2	1079,3
Количество размещенных лиц, тыс. человек	73693,9	17251,6	4106,5	371,8	230,5	235,7
Количество средств размещения в сельской местности, единиц	6979	–	48	35	36	23
Количество мест в коллективных средствах размещения в сельской местности, ед.	561661	–	7270	2368	1890	6979
Количество мест в расчете на 1 коллективное средство размещения в сельской местности, ед.	80	–	151	90	53	140

Таблица 3.

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАЗВИТИЯ ТУРИЗМА  
В ПРИГРАНИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ И СТОЛИЧНОМ РЕГИОНЕ  
БЕЛАРУСИ, 2018 г.

Table 3. Main indicators of tourism development in the border regions and the capital region of Belarus, 2018

Показатели	Беларусь, всего	Минск	Минская обл.	Витебская обл.	Гомельская обл.	Могилёвская обл.
Количество организаций, осуществлявших туристскую деятельность, ед.	1482	736	130	157	140	92
Численность туристов и экскурсантов, тыс. чел.	365,5	116,5	7,9	37,6	4,8	8,5
Количество гостиниц и аналогичных средств размещения, ед.	587	67	126	105	75	62
Численность размещенных лиц, тыс. человек	2 007,3	785,7	203,2	215,2	195,3	159,8
Количество санаторно-курортных, оздоровительных организаций и других специализированных средств размещения, ед.	490	6	156	109	42	50
Количество субъектов агротуризма, ед.	2 054	–	704	480	127	156
Количество туристов, обслуженных субъектами агротуризма, тыс. чел из них граждане Республики Беларусь	422,3	–	153,1	42,1	35,3	43,9
	379,2	–	135,9	36,6	34,7	41,3
Платные услуги населению, оказанные туристскими агентствами, туроператорами, а также услуги по бронированию и сопутствующие услуги, в %	6,2	9,0	3,3	4,0	3,6	3,4

47% от общего числа прибывших.

В 2018 г. численность организованных туристов и экскурсантов, посетивших приграничные области в Беларуси, составила более 50 тыс. человек (табл. 3). Достаточное количество организованных туристов и экскурсантов приходилось на граждан из соседних приграничных областей и жителей столичной агломерации Российской Федерации и (около 65%). Интересно, что спрос на соседнюю Республику Беларусь у туристов и экскурсантов из Московского столичного региона чрезвычайно высок. Например, ежегодно в этом направлении, минуя Смоленскую и Брестскую области, проезжает более 300 тыс. человек. Наоборот, платёжеспособные туристы из Минска – столицы Республики Беларусь туристский потенциал российской части приграничья оценивают высоко, но пока предпочитают отдыхать в соседних Украине и Польше из-за грамотно разработанной диверсификации туристских предложений для различных категорий потребителей и соотношения цены и качества.

Центральными точками притяжения для туристов в российско-белорусском приграничье являются религиозные памятники и места паломничества – Псково-Печерский монастырь, Смоленский Успенский кафедральный собор и Софийский собор в г. Полоцк. Также, большинство туристов отмечают в качестве объекта туристского интереса Смоленскую крепостную стену и Ансамбль Псковского Кремля, а также Старый город Витебска и Гомельский дворцово-парковый ансамбль. Кроме того, туристы в приграничье часто посещают музей-усадьбы, музей-заповедники и мемориальные комплексы.

Высокий уровень благосостояния населения столицы определяет потенциальный рост рынка рекреационного туризма в межстоличных и пристоличных регионах. В триаду самых популярных видов туризма в российско-белорусском приграничье входят *дачный туризм*, *сельский туризм*, а также *экологический туризм*.

Дачная рекреация явление не новое и развивается повсеместно в регионах российско-белорусского приграничья, постепенно приобретая модернизированные функции. Категория лиц, совершающих регулярные поездки на дачу, подпадает под определение туриста согласно Федеральному закону №132-ФЗ<sup>1</sup>. Количество поездок на дачи по Московской области оценивается в 75,00–80,00 млн. Но в классическом понимании, данная категория лиц туристами не считается.

Смоленщина традиционно является зоной дачного отдыха москвичей. В районах Смоленской области, которые попадают в зону 300-километрового влияния Московской агломерации, быстрыми темпами развивается загородная дачная застройка и строительство загородных туристско-рекреационных комплексов. Дачная застройка выдвигает на-

и меньшие требования к инфраструктурной подготовке территории. Основной функцией дачных поселков является отдых на выходных и детский отдых летом. Отсутствие постоянного проживания снижает требования по транспортной доступности, а «небольшая частота цикла посещения, на которую рассчитано второе жилье, увеличивает радиус пульсаций» [Яськова, 2014].

В связи с изменившимися туристскими предпочтениями, потребителями дачного отдыха стали жители столичных агломерация, которые заинтересованы в организации летнего отдыха для своих детей и престарелых родителей и предъявляют высокие требования к условиям проживания и безопасности, не претендуя на досугово-развлекательную деятельность. Важная отличительная особенность этого туристского сегмента – длительный срок проживания (до трех месяцев). Возможным форматом в перспективе может стать не только сельские гостевые дома, но и целые «дачные деревни», возводимые как новый объект, или организуемые на основе существующих турбаз.

В современных условиях, когда усиливается экономическая роль столичных городов и агломераций, когда многие сельские территории и малые города в российско-белорусском приграничье испытывают экономическую и социальную деградацию, *сельский туризм* в межстоличных регионах могут стать своеобразными драйверами их развития. В условиях усиливающейся урбанизации именно население столиц является основными рекреантами в сельской местности [Мозгунов, 2010; Щербакова С.А., 2019]. В поисках спокойного отдыха и аутентичного опыта туристы из столицы стремятся погрузиться в обычную жизнь местного населения в сельской местности. Основными *трендами развития сельского туризма* можно считать: экологичность; доступность для всех типов туристов; инициативность и креативность; мультипликативный эффект; вовлечение молодёжи и людей старшей возрастной группы; гастрономия; институализация (новые организационные формы) [Dashper K., 2014].

Все регионы Республики Беларусь обладают возможностями для развития *агротуризма*, однако распределены агроусадьбы по областям страны неравномерно. Бессменным доминантом агротуризма является Минская область и это объясняет специализацию Минской агломерации в отдыхе в сельской местности у жителей столицы. В областях приграничья лидером по количеству агроусадоб является Витебс-

---

1 Федеральный закон «Об основах туристской деятельности в Российской Федерации» от 24.11.1996 №132-ФЗ (последняя редакция).

кая область, в которой на 2018 г. насчитывалось 480 агроусадеб, меньшее количество усадеб в сельской местности зарегистрировано в Могилёвской области –156, а в Гомельской области всего 127 агроусадеб.

Большинство регионов российско-белорусского приграничья располагают разнообразными ресурсами для развития *экотуризма*. Национальные парки и заповедники, находящиеся в зоне пяти-, шести-, семи-часового переезда от Москвы весьма популярны среди столичных жителей. Так, например, Национальный парк «Смоленское Поозерье» (Демидовский район) с уникальной озерно-речной сетью, наличием минеральных источников и лечебных грязей, которые используются в санатории им. Н.М. Пржевальского является своеобразным центром притяжения московских туристов, особенно в летний период. На территории Парка созданы все условия для организации пешеходных, конных, велосипедных, водных туристских походов, отдыха и оздоровления в природной среде. Также, в Смоленской области территориями, популярным, особенно для рыбалки, среди московских жителей является Гагаринский район на Вазузском и Яузском водохранилищах, где развита туристская инфраструктура, отвечающая высоким требованиям столичного туриста (отели премиум-класса). Согласно данным рейтингового агентства «Эксперт» Смоленская область в 2019 году по экологическим рискам занимала 15 место в Российской Федерации<sup>1</sup>. В силу западного переноса воздушных масс, Смоленская область характеризуется меньшим из пристоличных регионов Центральной России атмосферным загрязнением. Для туристско-рекреационной деятельности важен тот факт, что экологическое состояние региона значительно улучшилось в последние годы.

Современной пространственно-экономической формой организации туризма в регионах российско-белорусского приграничья становится кластер. Кластерный подход является наиболее комплексным, который даёт возможность рассматривать развитие туризма во взаимодействии и взаимовлиянии различных факторов [Schuhbert A., 2013]. В связи с этим, эффективное развитие туризма в российско-белорусском приграничье будет связано с правильным созданием и дальнейшим функционированием туристских кластеров, а также с грамотным использованием выгод приграничного положения территорий.

Кластерная модель организации туризма в России очень популярна. Так, в рамках Федеральной целевой программы «Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации» (2011–2018 гг., Концепция, 2019–2025 гг.) в стране выделено достаточно территорий, на которых сформированы туристско-рекреационные кластеры (ТРК). В основном они сосредоточены в Центральной части Российской Федерации. К 2025 г. планируется увеличить долю вклада кластеров, со-

зданных в рамках ФЦП, в валовую добавленную стоимость туристской индустрии до 38,11% (на данный момент доля составляет 21,41%)<sup>2</sup>.

В российско-белорусском приграничье на данный момент создано 3 туристско-рекреационных кластера – два кластера в Брянской области (ТРК «Хрустальный город» и ТРК «Елисеевы Поля») и один кластер в Псковской области (ТРК «Псковский»). По типологии О.Е. Афанасьева они относятся к разным типам кластеров. Исследователь, применив метод оценочной ранговой классификации по 7 показателям, выделил четыре интегральных типа туристско-рекреационных кластеров [Афанасьев О.Е., 2016].

ТРК «Елисеевы Поля» по типологии относится к 1-му классификационному типу и представляет собой кластер с низким организационным потенциалом, не имеющий в своей основе известных природно-рекреационных и историко-культурных объектов для потенциальных потребителей туристских услуг, а также владеет крайне низким показателем информационной доступности. В 2014 г. ТРК «Елисеевы Поля» начал процесс строительства обеспечивающей инфраструктуры, но в настоящее время кластер не имеет естественного потенциала роста.

ТРК «Хрустальный город» относится ко второму классификационному типу. Он обладает средним организационным потенциалом с единичными элементами аттрактивности для потенциальных потребителей. Общий объем финансирования ТРК «Хрустальный город» с 2015 по 2017 г. составил 1,3 млрд руб. Туристской направленность кластера, расположенного в г. Дятьково, является промышленный туризм. Под территорию ТРК «Хрустальный город» выведено 21 га, на которой запланировано строительство гостиниц, ресторанов, кафе, водного оздоровительного комплекса и других объектов туристской инфраструктуры. В туристские маршруты включены основные объекты туристского показа с ядром притяжения туристов в музее хрусталя.

Только туристско-рекреационный кластер в Псковской области ТРК «Псковский» является своеобразным эталоном развития кластеров и относится в 4 классификационному типу. ТРК «Псковский» является развивающимся и имеющий значительный потенциал роста. Благодаря кластеру туристская инфраструктура города Пскова была как заново создана, так и благоустроена (парковые зоны, улицы, строения). Так, например, в рамках ТРК «Псковский» были открыты: РГК «Двор Подзно-

1 RAEX – аналитика. Электронный ресурс: <https://raex-a.ru/ratings/regions/2019/att2> (дата обращения 08.05.2020).

2 Федеральное агентство по туризму. Электронный ресурс: <https://www.russiatourism.ru/upload/iblock/b6a/Концепция.pdf> (дата обращения 08.05.2020).

ева», ГК «Изборск», имение «Алтунь», реконструированы набережная реки Великой, улица Пушкина, ул. Ленина, Октябрьский проспект, ул. Свердлова, ул. Калинина, благоустроены городские парки.

Опыт Беларуси показывает нам отдельные успешные инициативы по формированию туристских кластеров, преимущественно агроэко-туристских кластеров, преимущественно в Брестской и Гродненской областях, которые в основном относятся к зарождающемуся типу кластера [Вертинская Т.С., Клицунова В.А, 2015]. Необходимость развития кластеров в Беларуси в целях построения многоуровневой системы продвижения туристских услуг закреплена в Государственной программе «Беларусь гостеприимная» на 2016–2020 гг. [Олюнина И.В, 2018].

Так, в 2016 г. были определены туристские дестинации на территории всей Беларуси, в т.ч. в приграничных Витебской и Могилёвской областях, которые обладают необходимыми предпосылками для развития туристских кластеров<sup>1</sup>. На данный момент в белорусской части приграничья не существует полноценных кластеров в туристско-гостиничной индустрии и можно говорить лишь о потенциальных туристских кластерах.

На сегодняшний момент весьма актуальным является создание в приграничье трансграничного туристского кластера, целью которого станет повышение конкурентоспособности российско-белорусского региона на рынке туристских услуг за счет синергетического эффекта.

Создание трансграничного туристского кластера в российско-белорусском приграничье весьма обосновано по ряду причин:

- во-первых, кластер имеет огромное преимущество – близость к Западной Европе;
- во-вторых, рассматриваемая трансграничная зона обладает близким соседством природно-рекреационного и историко-культурного наследия;
- в-третьих, имеется достаточное количество предприятий, занимающихся различными видами туризма;
- в-четвёртых, развивается взаимодействие администраций приграничных регионов соседних стран.

Итак, кластерная модель развития туризма в российско-белорусском приграничье позволит повысить конкурентоспособность экономики приграничья и упрочить позиции приграничных регионов на международном и национальном рынках туризма, путем

1 Кластеры в Беларуси. Электронный ресурс: <http://www.cluster.by> (дата обращения: 18.05.2020).

эффективного планирования туристской деятельности на основе принципов устойчивого развития туризма и грамотного долгосрочного инвестирования туристско-гостиничную индустрию.

### **ВЫВОДЫ**

Эффект межстоличья неоднозначно влияет на развитие туристско-рекреационной деятельности в регионах российско-белорусского приграничья. С одной стороны, повышаются возможности, позволяющие приграничью привлекать и наращивать ресурсы для развития туристской отрасли, а с другой стороны, потенциал туристской индустрии в приграничье заметно отстаёт, что усиливает инфраструктурные проблемы развития туризма и оттягивание туристских потоков в столичные регионы.

### **БЛАГОДАРНОСТИ**

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, грант №20–55–0002 «Межстоличье как фактор социально-экономического развития российско-белорусского приграничья».

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Александрова А.Ю. Москва в системе глобальных городов как туристских дестинаций // География и регион: материалы междунар. науч.-практ. конф. Пермь, 2015. Т. VI: Туризм. С. 9–15.
2. Александрова А.Ю. Изменение туристского геопространства в эпоху всеобщей мобильности // Вестник Московского университета. Серия 5: География, 2020. №2. С. 3–12.
3. Афанасьев О.Е. Туристские кластеры и дестинации: проблемы создания и продвижения // Современные проблемы сервиса и туризма, 2016. Т. 10. № 1. С. 5–6.
4. Вертинская Т.С., Клицунова В.А. Методология создания региональных туристических кластеров в Беларуси. 2015. 52 с.
5. Катровский А.П., Ковалев Ю.П., Мажар Л.Ю., Щербакова С.А. Туризм в приграничных регионах: теоретические аспекты географического изучения // Балтийский регион, 2017. Т. 9. №1. С. 113–126.
6. Катровский А.П., Мажар Л.Ю., Шадраков А.В. и др. Человеческий капитал и социально-экономическое развитие регионов российско-белорусского приграничья, 2017. 364 с.
7. Земляк С.В., Катровский А.П., Ридевский Г.В. и др. Модернизация и структурные трансформации российско-белорусского приграничья, 2018. 376 с.
8. Мажар Л.Ю. Территориальные туристско-рекреационные

- системы: теория и практика формирования // Вопросы географии № 139. Теория и практика туризма, 2014. С. 62–79.
9. Мажар Л.Ю., Щербакова С.А. Развитие трансграничного туризма как направление модернизации туристско-рекреационной деятельности в российско-белорусском приграничье // Региональные исследования, 2018. №3. С. 115–125.
  10. Мироненко Н.М., Твердохлебов И.Т. Рекреационная география, 1981. 208 с.
  11. Мозгунов Н.А. Сельский туризм как фактор развития территории (на примере развития Орловской области) // Региональные исследования, 2010. №2 (28). С. 69–82.
  12. Нефёдова Т.Г., Трейвиш А.И. Россия между двумя столицами: специфика территориальных сдвигов // Региональные исследования, 2013. №4 (42). С. 31–43.
  13. Окунев И.Ю. Столицы в зеркале критической геополитики, 2017. 208 с.
  14. Олюнина И.В. Туристический кластер как средство развития региона: проблемы и возможности // Туризм и музейное дело, 2018. № 1. С. 106–108.
  15. Транспорт и развитие туризма в приграничных с Республикой Беларусь регионах России / под ред. А.П. Катровского, Ю.П. Ковалёва, Т.И. Яськовой, 2019. 260 с.
  16. Щербакова С.А., Евдокимов М.Ю. Сельский туризм в Смоленской области: современный портрет потребителя услуг // Вестник Московского гос. областного ун-та. Серия: Естественные науки, 2019. № 1. С. 124–136.
  17. Щербакова С.А. Формирование трансграничного туристского кластера в российско-белорусском приграничье // В сборнике. Туризм и региональное развитие, 2017. С. 240–244
  18. Яськова Т.И. Пристоличное положение как фактор социально-экономического развития Смоленской области: дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.24: Смоленск, 2014. 182 с.
  19. Яковлева С.И. Оценка туристского потенциала столичных и межстоличных регионов России // Псковский регионалистический журнал, 2017. № 1 (29). С. 48–60.
  20. Dashper K. Rural Tourism: Opportunities and Challenges, in Rural Tourism: An International Perspective. Cambridge Scholars Publishing, 2014. P. 1–16.
  21. Saarinen J., Rogerson C.M., Hall M. Geographies of tourism development and planning // Tourism Geographies, 2017. V. 19. P. 307–317.
  22. Schuhbert A. Touristische Destinationen als Cluster, 2013. P. 10–25.

**REFERENCES**

1. Alexandrova A.Yu. Moscow in the system of global cities as tourist destinations // Geography and region: materials of mezh-dunar. scientific-practical Conf. Perm, 2015. V. VI: Tourism. P. 9–15 (in Russ).
2. Alexandrova A.Yu. Change of tourist geospatial space in the era of universal mobility // Bulletin Of The Moscow University. Series 5. geography, 2020. No. 2. P. 3–12 (in Russ).
3. Afanasiev O.E. Tourist clusters and destinations: problems of creation and promotion // Modern problems of service and tourism, 2016. V. 10. No. 1. P. 5–6. (in Russ)
4. Vertinskaya T.S., Klitsunova V.A. Methodology for creating regional tourism clusters in Belarus, 2015. 52 p. (in Russ).
5. Katrovskiy A.P., Kovalev Yu.P., Mazhar L.Yu., Shcherbakova S.A. Tourism in border regions: theoretical aspects of geographical study // Baltic region, 2017. V. 9. No. 1. P. 113–126 (in Russ).
6. Katrovsky A.P., Mazhar L.Yu., Shadrakov A.V. and others. Human capital and socio-economic development of the Russian-Belarusian border regions, 2017. 364 p. (in Russ).
7. Zemlyak S.V., Katrovsky A.P., Ridevsky G.V. and others. Modernization and structural transformations of the Russian-Belarusian border area, 2018. 376 p. (in Russ).
8. Mazhar L.Yu. Territorial tourist and recreational systems: theory and practice of formation // Questions of geography No 139. Theory and practice of tourism, 2014, P. 62–79 (in Russ).
9. Mazhar L.Yu., Shcherbakova S.A. Development of cross-border tourism as a direction of modernization of tourist and recreational activities in the Russian-Belarusian border area // Regional studies, 2018. No. 3. P. 115–125. (in Russ).
10. Mironenko N.M., Tverdokhlebov I.T. Recreational geography, 1981. 208 p. (in Russ).
11. Mozgunov N.A. Rural tourism as a factor in the development of the territory (on the example of the development of the Oryol region) // Regional studies, 2010. No. 2 (28). P. 69–82 (in Russ).
12. Nefedova T.G., Trayvish A. I. Russia between two capitals: specifics of territorial shifts // Regional studies, 2013. No. 4 (42). P. 31–43 (in Russ).
13. Okunev I.Yu. Capitals in the mirror of critical geopolitics, 2017. 208 p. (in Russ)
14. Olyunina I.V. Tourist cluster as a means of regional develop-

- ment: challenges and opportunities // *Tourism and Museum business*, 2018. No. 1. P. 106–108 (in Russ).
15. Transport and tourism development in the regions bordering the Republic of Belarus in Russia / edited by A. P. Katrovsky, Yu. P. Kovalev, T. I. Yaskova, 2019. 260 p. (in Russ).
  16. Shcherbakova S.A., Evdokimov M.Yu. Rural tourism in the Smolensk region: a modern portrait of the consumer of services // *Bulletin of the Moscow state regional University. Series: Natural Sciences*, 2019. №1. P. 124–136 (in Russ).
  17. Shcherbakova S. A. Formation of a cross-border tourist cluster in the Russian-Belarusian border area // In the collection. *Tourism and regional development*, 2017. P. 240–244 (in Russ).
  18. Yaskova T.I. Pristolichnoe position as a factor of socio-economic development of the Smolensk region: Diss. ... Cand. geogr. nauk: 25.00.24: Smolensk, 2014. 182 p. (in Russ).
  19. Yakovleva S.I. Assessment of the tourist potential of the capital and inter-capital regions of Russia // *Pskov regionological journal*, 2017. No. 1 (29). P. 48–60. (in Russ).
  20. Dashper K. Rural Tourism: Opportunities and Challenges, in *Rural Tourism: An International Perspective*. Cambridge Scholars Publishing, 2014. P. 1–16.
  21. Saarinen J., Rogerson C.M., Hall M. Geographies of tourism development and planning // *Tourism Geographies*, 2017. V. 19. P. 307–317.
  22. Schuhbert A. Touristische Destinationen als Cluster, 2013. P. 10–25.

**Поступило в редакцию 25.05.2020,  
принята к публикации 01.06.2020**

### **Об авторах**

**Щербакова**

**Светлана Александровна**, кандидат географических наук, доцент кафедры географии Смоленского государственного университета. Телефон (910) 117-01-118.  
E-mail: sollos@mail.ru.

### **About the authors**

**Shcherbakova**

**Svetlana Alexandrovna**, candidate of geographical Sciences, associate Professor of the Department of geography of Smolensk state University.  
Phone: (910) 117-01-118. E-mail: sollos@mail.ru.

25.00.29  
УДК 556.5

ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ

Закинян Р.Г.,  
Закинян А.Р.

Северо-Кавказский федеральный университет,  
г. Ставрополь, Россия (zakinyan.a.r@mail.ru)

## **АНАЛИЗ КРУПНОМАСШТАБНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА**

Введение:

общее описание круговорота воды в природе или гидрологического цикла, состоящего из испарения, конденсации и осадков, слишком просто, чтобы объяснить высокую степень сложности вовлеченных явлений. Несколько физических процессов вносят существенный вклад в определение окончательного баланса (или локального дисбаланса), например, перенос водяного пара, сублимация, поверхностный сток, влажность почвы, инфильтрация, перколяция, поглощение растений и поток подземных вод.

Облака и осадки, наряду с массовым обменом водяным паром, играют существенную роль в изменчивости климата как на глобальном, так и на региональном уровнях. Они влияют не только на климат, но и на погоду всех масштабов и определяют наличие воды.

Материалы и методы исследований:

круговорот воды в природе является наиболее важным физическим механизмом, обеспечивающим существование жизни на Земле. Его компоненты охватывают атмосферу, сушу и океаны. Цикл состоит из испарения, сублимации, переноса водяного пара, конденсации, осадков, стока, инфильтрации и просачивания, потока подземных вод и поглощения растений. Для правильного баланса глобального водного цикла необходимы наблюдения для всех этих процессов с глобальной точки зрения. В частности, осадки требуют постоянного мониторинга, поскольку они являются наиболее важным компонентом цикла, особенно в условиях изменяющихся климатических характеристик. Пассивные и активные датчики на борту метеорологических спутников и спутников окружающей среды теперь предоставляют достаточно полные данные, которые позволяют лучше измерять осадки из космоса, чтобы улучшить наше понимание ускорения / замедления цикла в текущих и прогнозируемых климатических условиях.

Результаты исследований и их обсуждение:

целью данной статьи является создание современной картины текущего состояния наблюдений за осадками из космоса с перспективой на ближайшее будущее спутниковой группировки, приложений для моделирования и управления водными ресурсами. В частности, в настоящее время проблема прогноза паводков является актуальной проблемой, как с научной, так и с практической точки зрения. Хотя в целом картина формирования паводков ясна и понятно, что они в основном определяются интенсивностью и продолжительностью осадков над бассейном реки, но математического подхода, в рамках которого можно было спрогнозировать для конкретного бассейна момент наступления паводков с достаточной заблаговременностью, все еще нет. Это связано с наличием множества взаимосвязанных факторов, влияющих на накопление влаги в бассейне реки. Поэтому любая автоматизированная система прогноза паводка должна опираться на данные дистанционного зондирования Земли из космоса.

Выводы:

в работе получена новая математическая модель паводков с распределенными параметрами. Показано, что предложенная математическая модель описывает режим с обострением. Это значит, что за конечное время количество влаги в почве стремится к бесконечности.

Ключевые слова:

круговорот воды; гидрологический цикл; атмосферные осадки; водные ресурсы; изменение климата; спутниковое; дистанционное зондирование, бассейн реки, приток, сток, паводок, водосбор, подземные воды.

Zakinyan R.G.,  
Zakinyan A.R.

North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia  
zakinyan.a.r@mail.ru

## **Analysis of Large-Scale Circulation of the Atmosphere by Data of Remote Sensing of the Earth from Space**

- Introduction:** a general description of the water cycle in nature or the hydrological cycle, consisting of evaporation, condensation and precipitation, is too simple to explain the high degree of complexity of the phenomena involved. Several physical processes contribute significantly to determining the final balance (or local imbalance), for example, water vapor transport, sublimation, surface runoff, soil moisture, infiltration, percolation, plant absorption, and groundwater flow. Clouds and precipitation, along with the massive exchange of water vapor, play a significant role in climate variability, both globally and regionally. They affect not only the climate, but also the weather of all scales and determine the availability of water.
- Materials and methods  
of the research:** the water cycle in nature is the most important physical mechanism that ensures the existence of life on Earth. Its components cover the atmosphere, land and oceans. The cycle consists of evaporation, sublimation, water vapor transfer, condensation, precipitation, runoff, infiltration and seepage, groundwater flow and absorption of plants. For the correct balance of the global water cycle, observations are necessary for all these processes from a global point of view. In particular, precipitation requires constant monitoring, as it is the most important component of the cycle, especially in conditions of changing climatic characteristics. Passive and active sensors aboard meteorological and environmental satellites now provide sufficiently comprehensive data that allows better measurements of precipitation from space to improve our understanding of cycle acceleration / deceleration in current and predicted climatic conditions.
- The results of the study  
and their discussion:** the purpose of this article is to create a modern picture of the current state of observations of precipitation from space with the prospect for the near future of a satellite constellation, applications for modeling and water resources management. In particular, at present the problem of flood forecasting is an urgent problem, both from a scientific and from a practical point of view. Although the overall picture of the formation of floods is clear and understandable that they are mainly determined by the intensity and duration of precipitation over the river basin, there is still no mathematical approach in which it was possible to predict the time of the onset of floods with a sufficient lead time. This is due to the presence of many interdependent factors affecting the accumulation of moisture in the river basin. Therefore, any automated flood forecasting system should rely on Earth remote sensing data from space.
- Conclusions:** a new mathematical model of floods with distributed parameters is obtained. It is shown that the proposed mathematical model describes an aggravated regime. This means that over a finite time, the amount of moisture in the soil tends to infinity.
- Keywords:** water cycle; hydrological cycle; precipitation; water resources; climate change; satellite; remote sensing, river basin, inflow, drain, flood, reservoir, underground waters.

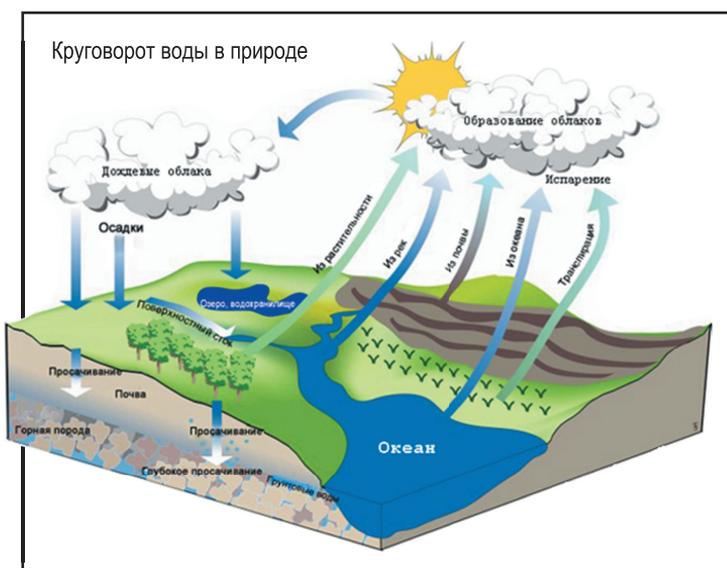
### Введение

Общее описание круговорота воды в природе или гидрологического цикла, состоящего из испарения, конденсации и осадков, слишком просто, чтобы объяснить высокую степень сложности вовлеченных явлений. Несколько физических процессов вносят существенный вклад в определение окончательного баланса (или локального дисбаланса), например, перенос водяного пара, сублимация, поверхностный сток, влажность почвы, инфильтрация, перколяция, поглощение растений и поток подземных вод [Schneider et al, 2017; Oki and Kanae, 2006; Trenberth et al, 2007], как показано на рисунке 1. Кроме того, испарение происходит не только с поверхности водоемов, но также из облаков и падающих осадков. Однако в этом описании полностью упускается из виду еще один элемент: влияние человека, ключевой фактор, если мы хотим количественно оценить изменения в круговороте воды в меняющемся современном климате [Abbott et al, 2019].

Процессы, лежащие в основе системы суша-атмосфера-океан, строго взаимосвязаны, поэтому изменения в одной из них будут вызывать изменения и обратную связь с другими [Denman et al, 2007]. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) стремится количественно оценить изменения, вызванные человеческими и / или естественными причинами. Такое количественное определение является очень сложным и требует адекватных наблюдений и моделирования, поскольку полная и удовлетворительная оценка изменения климата не может быть достигнута без глубокого понимания изменчивости климата, которое еще не достигнуто всесторонне, несмотря на существенный прогресс, достигнутый в последние несколько десятилетий. Глобальные климатические факторы оказывают прямое или косвенное влияние на баланс между поступающим солнечным коротковолновым излучением (КВ) и уходящим длинноволновым излучением (ДВ). Таким образом, правильное понимание глобальных изменений климата не может быть достигнуто без знания того, как энергия распределяется и обменивается в атмосфере Земли, океане, земле и снегу [Trenberth et al, 2009; Loeb et al, 2009].

В частности, было высказано предположение, что термодинамика способствует увеличению общего количества осадков при потеплении поверхности со скоростью около  $1,5\% \text{ K}^{-1}$ ; будет ли глобальное количество осадков увеличиваться со скоростью ближе к 1 или даже к  $3\% \text{ K}^{-1}$ , будет зависеть от радиационных изменений [Siler et al, 2019].

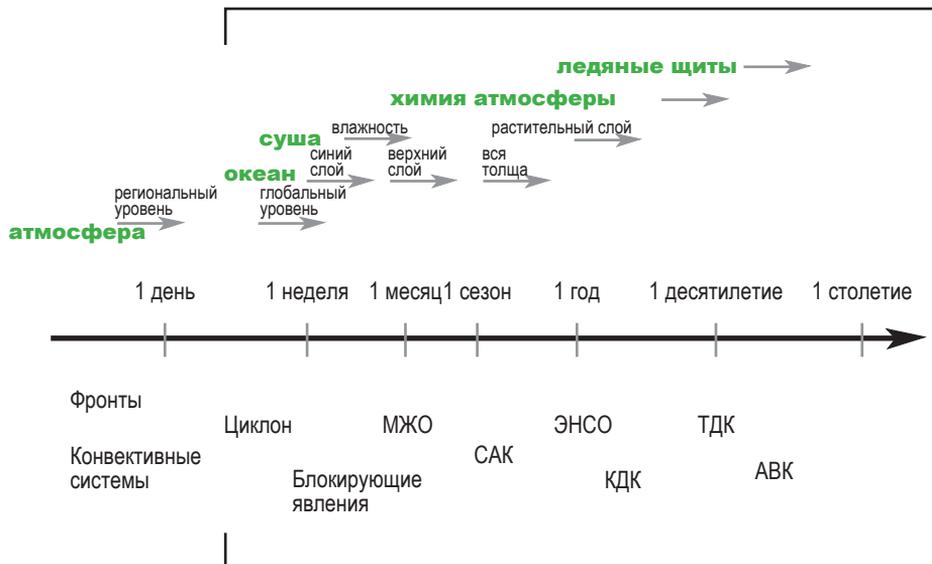
Облака и осадки, наряду с массовым обменом водяным паром, играют существенную роль в изменчивости климата как на глобальном, так и на региональном уровнях. Они влияют не только на климат, но и на погоду всех масштабов и определяют наличие воды. Времен-



**Рис. 1.** Гидрологический цикл и его компоненты.  
Fig. 1 . Hydrological cycle and its components.

ные масштабы от процессов погоды до процессов изменения климата очень широки и охватывают различные явления, показанные на рисунке 2. Аэрозольные частицы, выделяемые в результате деятельности человека, могут также вызывать образование облаков, которые менее эффективны при выделении осадков, что приводит к ослаблению гидрологического цикла [Ramanathan et al, 2001].

Растительный покров в значительной степени связан с разделением водного баланса. Изменения в лесном покрове (особенно в тропиках) могут оказывать кратковременное и долгосрочное влияние на это разделение [Mercado-Bettín et al, 2019; Vergopolan and Fisher, 2016]. Похоже, что переходы от леса к саванне из-за уменьшения количества осадков в будущем более вероятны в регионах с более низкой изменчивостью осадков [Ciemer et al, 2019]. Более того, влияние лесов и лесопосадок на гидрологический цикл в настоящее время признается фундаментальным в районах, подверженных эрозии и наводнениям, а также в районах, нуждающихся в адекватном управлении водоснабжением [Bonnesoeur et al, 2019]. Взаимодействие лесов и воды в настоящее время признано потенциально позитивным воздействием на запас и чистоту имеющихся водных ресурсов, на межконтинентальный перенос атмосферной влаги, на охлаждение земных поверхностей, на ин-



**Рис. 2.** Временные масштабы погодно-климатических процессов.  
Fig. 2. The time scales of weather and climate processes.

фильтрацию и пополнение подземных вод, на смягчение паводков и на многие другие процессы [Ellison, 2018, Ellison et al, 2015]. Наземные и водные экосистемы подвержены внешнему влиянию и влиянию климата во многих отношениях; таким образом, механизмы изменения климата могут влиять на биоразнообразие, структуру и функции экосистем [Häder and Barnes, 2019]. Отметим также, что глобальный круговорот воды также мог сыграть решающую роль в истории Земли, циркулируя поверхностные воды в глубокой мантии и снова возвращаясь к поверхности [Korenaga et al, 2017].

Пересмотр водной планетарной границы важен, если мы рассмотрим, как климат и живые экосистемы реагируют на изменения в различных формах воды на Земле: атмосферная вода, влажность почвы, грунтовые воды и замерзшая вода, а также поверхностные воды [Gleeson et al, 2019]. Водный цикл, в действительности, представляет собой систему, связанную с человеком и водой, и, таким образом, гидрология все чаще вынуждена решать возникающие социально-гидрологические проблемы [Konar et al, 2019] в разных масштабах и в разных местах, если она хочет разработать инструменты для прогнозирования будущих траекторий поведения системы в условиях меняющихся гидроклиматических и / или социально-экономических усло-

вий [Roobavannan et al, 2017]. Это включает в себя концепцию виртуальной воды, которая была вызвана глобализацией сельского хозяйства и торговли [D'Odorico et al, 2019] и использованием тесных связей между экогидрологическими процессами и экосистемными услугами, связанными с водой [Sun, 2017]. Недавние исследования показали, что люди изменяют глобальный круговорот воды, создавая водный кризис для миллиардов людей и многих экосистем во всем мире [Abbott et al, 2019; Abbott et al, 2019]. Тем не менее, такое влияние в основном отсутствует в современных изображениях и представлениях о круговороте воды.

Основные проблемы связаны со сбором достаточных знаний об экологических системах для выявления экстремальных экологических реакций и отнесения экстремальных климатических явлений к факторам экстремальных экологических реакций, определенных как экстремальные климатические явления [Smith, 2011]. Следовательно, современная гидрология претерпевает глубокие изменения, становится наукой о системе Земли и принимает новые целостные подходы, в отличие от физических подходов, основанных на механике жидкости в прошлом [Sivapalan, 2018]. Фактически, как Abbott и др. [Abbott et al, 2019] указывают на то, что перспектива гидродинамики гидрологических наук, принятая до сих пор, породила большое понимание, но не смогла защитить экосистемы. Гидрологические, геоморфологические, экологические и педологические процессы, каждый из которых работает с разной скоростью, все больше исследуются для достижения этой цели. Новые вопросы задаются о городской части круговорота воды [Marsalek et al, 2008] и о роли растительного покрова и связанных с ним экогидрологических процессов в смягчении так называемого городского сухого острова и поддержании стабильной окружающей среды при планировании массовой урбанизации [Hao et al, 2018]. Эти проблемы ставят под сомнение наши возможности моделирования ввиду использования результатов моделирования в качестве инструментов принятия решений [Peña-Guzmán et al, 2017].

Таким образом, необходимы более точные наблюдения и модели для количественной оценки компонентов круговорота воды и определения их изменений, в частности ускорений и замедлений в глобальном и региональном масштабах. Другими словами, улучшенные наблюдения, модели и системы усвоения данных помогут закрыть научные пробелы в понимании хранения воды в климатической системе, потоках и пространственно-временной изменчивости [Lahoz and De Lannoy, 2014] и проложат путь к улучшению предсказания гидрологических характеристик [Lettenmaier, 2017]. Современные датчики на спутниковых платформах способны наблюдать за некоторыми ком-

понентами круговорота воды, предлагая впервые количественную картину механизмов, которые являются взаимосвязанными и часто очень сложными по своей природе.

Осадки являются одной из климатических переменных, которые значительно выигрывают от спутниковых наблюдений. Они являются фундаментальным компонентом круговорота воды, и их интенсивность, продолжительность, частота и фаза одинаково важны для общего количества воды [Levizziani. and Cattani, 2019]. Реакция характеристик осадков на глобальное потепление является ключевой темой исследования из-за их влияния на критическое состояние, из-за увеличения сухих и влажных экстремальных явлений и изменений межгодовой изменчивости, что сказывается на предсказуемости явлений осадков [Levizziani. and Cattani, 2019]. Лучшее понимание этого отклика, в свою очередь, обеспечит обратную связь с фундаментальным поведением осадков, особенно в тропиках [Levizziani. and Cattani, 2019], и поможет подтвердить термодинамические и динамические механизмы интенсификации гидрологического цикла, что было предложено в модели [Levizziani. and Cattani, 2019].

Обзор текущего состояния дистанционного зондирования осадков представлен в этом документе; он стремится выявить некоторые из наиболее очевидных пробелов с точки зрения будущих спутниковых исследований. В разделе 2 представлен обзор наблюдений и моделирования круговорота воды. В разделе 3 дается описание предложенной нами модели паводков.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С точки зрения водного баланса поверхности суши цикл можно описать как

$$\frac{dS}{dt} = P - E - Q, \quad (1)$$

где  $P$  – количество осадков (интенсивность),  
 $E$  – суммарное испарение (в единицу времени),  
 $Q$  – сток (в единицу времени) и общее накопление  $S$  (например, над речным бассейном).

В действительности,  $Q$  является составным термином, причем наиболее важными компонентами являются эквивалент снежной воды, влажность почвы, поверхностные воды (озера, водно-болотные угодья, водохранилища, реки) и подземные воды, с отдельным упоминанием ледников и ледниковых щитов. Эта простая модель говорит нам, что расхождение атмосферной влаги в основном компенси-

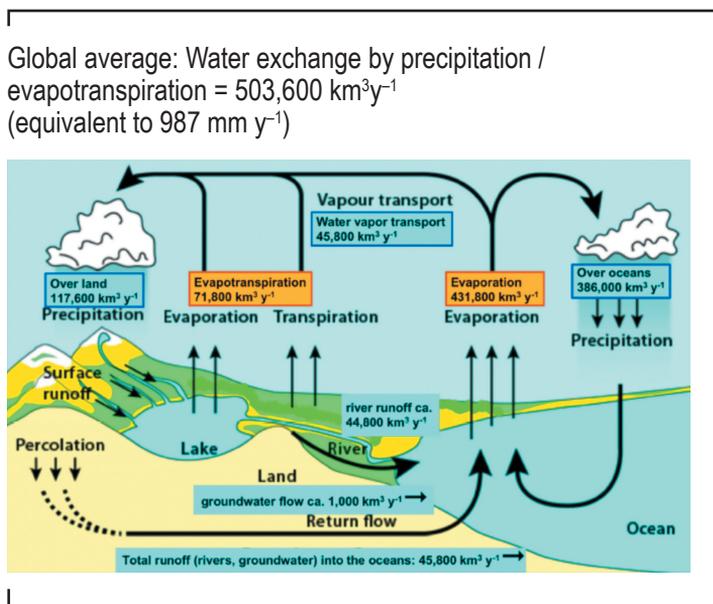


Рис. 3.

Средний водный транспорт / обмен в  $\text{km}^3$  в год.Fig. 3. Average water transport / exchange in  $\text{km}^3$  per year.

руется суммарным испарением и осадками, поскольку изменения в накоплении атмосферной влаги незначительны. На поверхности ( $P - E$ ) уравнивается поверхностным и подповерхностным стоком и изменениями влажности почвы и грунтовых вод.

Оценки глобального водного баланса и его годового цикла с использованием наблюдений и модельных данных представлены в литературе [Levizziani. and Cattani, 2019], а также показана оценка, основанная на недавней климатологии, проведенной Центром Глобальной Климатологии Осадков, на рисунке 3. Обратите внимание на доминирующую роль осадков над землей, но особенно над океанами.

### Наблюдения

Исследование различных климатических процессов требует внедрения и обслуживания сложной системы наблюдения с наземными, воздушными и космическими компонентами (рис. 4). Большинство датчиков уже установлены для метеорологии, гидрологии и климатологии, что подтверждается Системой Наблюдений, Анализа и Обзора (OSCAR, <https://www.wmo-sat.info/oscar/>), являющейся инструментом Всемирной Метеорологической Организации (ВМО), который

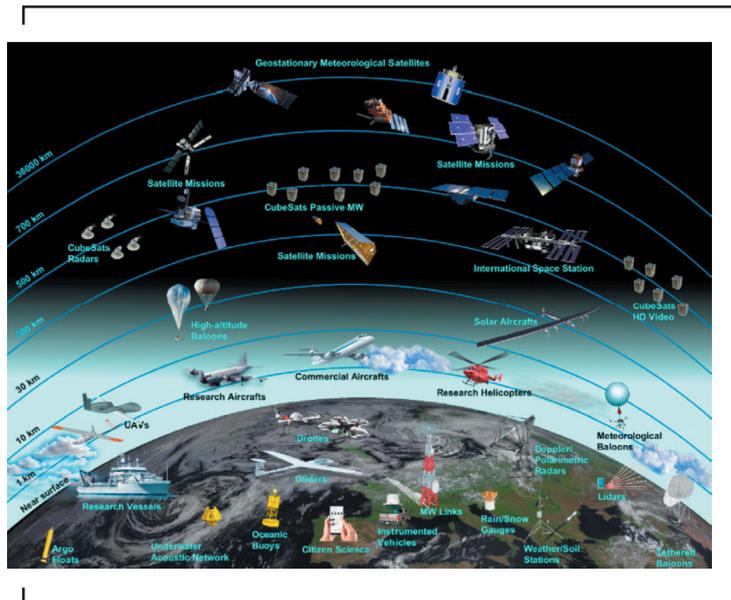


Рис. 4.

Глобальная система наблюдения за круговоротом воды.

Fig. 4. Global system for monitoring the water cycle.

определяет требования к наблюдению физических переменных. Глобальная Система Наблюдений за Климатом (GCOS, <https://gcos.wmo.int/en/home>) поддерживает определения и потребности в наблюдениях [Levizziani. and Cattani, 2019] основных климатических переменных, необходимые для систематического наблюдения за изменениями климата Земли. Наземные наблюдения производят наборы данных для оценки изменений в гидрологическом цикле и для определения тенденций [Levizziani. and Cattani, 2019], но это происходит только в ограниченных районах мира, где сети наблюдений достаточно плотны и обеспечивают адекватные стандарты качества.

### Результаты исследований и их обсуждение

На наш взгляд, слабой стороной существующих математических моделей паводков является то, что они носят «накопительный» характер. Мы же рассматриваем паводок, как качественно новое состояние бассейна, как катастрофу. Поэтому нами в настоящей работе предлагается математическая модель паводков, в которой процесс накопления влаги рассматривается, как «режим с обострением».

### Математическая модель с сосредоточенными параметрами

Начнем с анализа модели *HBV*. Эта модель, разработанная Бергстрёмом [Bergström, 1992, 1995] в Шведском метеорологическом и гидрологическом институте, представляет собой концептуальную модель водосбора, которая преобразует осадки, температуру воздуха и потенциальное суммарное испарение либо в снеготаяние, либо в сток или приток в водохранилище.

Модель описывает общий баланс воды следующим образом [Руководство, 2012]:

$$P - E - Q = \frac{d}{dt}(SP + SM + UZ + LZ + VL), \quad (2)$$

где  $P$  – осадки,  
 $E$  – суммарное испарение,  
 $Q$  – сток,  
 $SP$  – снежный покров,  
 $SM$  – влажность почвы,  
 $UZ$  – верхняя зона подземных вод,  
 $LZ$  – нижняя зона подземных вод и  
 $VL$  – объем озер.

В выражении (2) под  $P$  надо понимать не сами осадки, а интенсивность осадков. Соответственно,  $E$  – скорость испарения, а  $Q$  – скорость пополнения стока.

В действительности уравнение (2) выражает всего лишь баланс влаги. Оно не является кинематическим и не описывает динамику явления. Тем более, из него непосредственно не следует возникновение катастрофического явления, каковым являются паводки.

Немного видоизменив уравнение (2), можно свести его к виду, описывающему катастрофические явления. Действительно, так как в формуле (2) отражены основные составляющие баланса влаги, но можно предположить, что остались неизвестные нам составляющие баланса, то можно записать:

$$P - E - Q = A(SP + SM + UZ + LZ + VL)^\alpha, \quad (3)$$

где  $A$  и  $\alpha$  находятся статистическими методами по данным наблюдений.

Из (2) и (3) следует

$$\frac{d}{dt}(SP+SM+UZ+LZ+VL) = A(SP+SM+UZ+LZ+VL)^\alpha. \quad (4)$$

Уравнение (4) решается обычным способом. Мы для краткости изложения, согласно нашей основной концепции, остановим наше внимание только на одном, на наш взгляд важном параметре  $UZ$ . Тогда уравнение (4) запишется в виде:

$$\frac{dUZ}{dt} = AUZ^\alpha. \quad (5)$$

Решая это уравнение находим:

$$UZ^{\alpha-1} = \frac{1}{A(\alpha-1)(t_c-t)}, \quad (6)$$

где

$$t_c = \frac{1}{A(\alpha-1)UZ_0^{\alpha-1}}.$$

Запишем уравнение (6) в виде:

$$UZ = \frac{B}{(t_c-t)^{1/(\alpha-1)}}, \quad (7)$$

где

$$B = \frac{1}{[A(\alpha-1)]^{1/(\alpha-1)}}. \quad (8)$$

Как видно из формулы (7), когда время  $t = t_c$  запасы влаги в верхней зоне подземных вод  $UZ \rightarrow \infty$ . Поэтому время  $t_c$  – это время катастрофы. Термин катастрофа здесь применяется в широком смысле слова, как резкое увеличение искомой величины.

Конечно же, в реальности дело до бесконечности не доходит. Но так как мы создаем прогностическую модель, нам до катастрофы дело доводить не надо. Из предложенной модели можно получить следующую практическую рекомендацию. *Если в результате мониторинга статистическими методами по данным наблюдений мы получили в модели (3) значение параметра  $\alpha > 1$ , то катастрофа неизбежна.*

#### **Математическая модель с распределенными параметрами**

Выше мы анализировали модель с сосредоточенными параметрами, постоянными для всего водосбора. В математическом смысле в этом случае водосбор представляется материальной точ-

кой. Однако, имеются модели с распределенными параметрами. Они предназначены для более надежного описания природных гидрологических процессов и поэтому могут включать некоторые метеорологические переменные и параметры водосбора.

Однако потенциал распределенных, физически обоснованных моделей до сих пор используется лишь частично [Refsgaard and Abbott, 1996]. Это объясняется несколькими причинами. Модели с распределенными параметрами требуют большого количества данных, которые не всегда существуют или недоступны.

Европейская гидрологическая система [DHI, 1985] является примером модели с распределенными параметрами. Блок, описывающий процесс задержания осадков растительностью в этой модели, позволяет определять интенсивность изменения количества влаги, задержанной поверхностью растительного покрова. Согласно модели Руттера указанную закономерность можно представить в виде [Руководство, 2012]:

$$\frac{dc}{dt} = Q - K(c - S), \quad (9)$$

где  $c$  – слой воды, задержанной поверхностью растительного покрова;  
 $S$  – водоудерживающая способность растительного покрова;  
 $Q$  – интенсивность выпадения жидких осадков;  
 $K$  – фильтрационный параметр;  
 $t$  – время.

Найдем решение уравнения (9):

$$-\frac{1}{K} \frac{d[Q - K(c - S)]}{dt} = Q - K(c - S),$$

$$\frac{d[Q - K(c - S)]}{Q - K(c - S)} = -Kdt,$$

$$\ln[Q - K(c - S)] = -Kt + \text{const}.$$

Константу найдем из условия, что к началу наблюдения имелся начальный слой воды, задержанной поверхностью растительного покрова. Тогда

$$Q - K(c - S) = [Q - K(c_0 - S)]e^{-Kt}$$

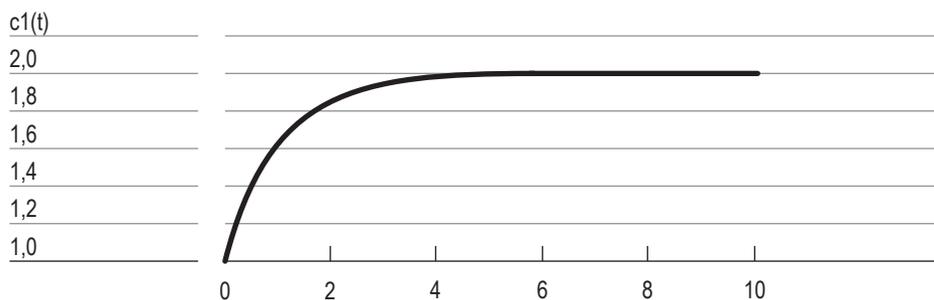


Рис. 5.

**Изменение слоя воды, задержанной поверхностью растительного покрова, в модели Руттера [Руководство, 2012].**

Fig. 5. Change in the water layer retained by the surface of the vegetation cover in the Rutter model [Guide, 2012].

$$Q(1 - e^{-Kt}) = K(c - c_0 e^{-Kt}) - KS(1 - e^{-Kt})$$

$$c = c_0 e^{-Kt} + \left(\frac{Q}{K} + S\right)(1 - e^{-Kt}). \quad (10)$$

Отсюда следует, что с увеличением времени  $t \rightarrow \infty$  слой воды, задержанной поверхностью растительного покрова, стремиться к предельному значению, равному:

$$c_{\max} = \frac{Q}{K} + S. \quad (11)$$

График зависимости (10) в условных единицах представлен на рисунке 5.

Как видно из проведенного анализа и рисунка модель Руттера не описывает катастрофу, в ней нет «режима обострения». Но в этой модели есть такое важное понятие, как водоудерживающая способность растительного покрова  $S$ , которая вместе с интенсивностью осадков и фильтрационными коэффициентами определяет максимальный слой воды, задержанной поверхностью растительного покрова  $c_{\max}$ .

Хотя в модели Руттера насыщение достигается за бесконечно большое время, она может быть полезна в практическом применении. Действительно, как только, согласно модели, слой воды приближается к состоянию насыщения и достигает порядка 80% от максимального значения, то ясно, что дополнительные осадки могут вызвать катастрофические явления.

В самом общем виде процесс накопления влаги может быть описан с помощью уравнения Ричардса [Руководство, 2012]:

$$c = \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial K}{\partial z} + S, \quad (12)$$

где  $\psi$  – напор;  
 $t$  – переменная времени;  
 $z$  – вертикальная координата (положительное направление вверх);  
 $c = \frac{\partial \Theta}{\partial \psi}$  – влагоемкость почвы;  
 $\Theta$  – запас воды в почве;  
 $K$  – гидравлическая проводимость;  
 $S$  – источник и сток воды.

Как известно [Тихонов и Самарский, 1999], решение уравнения типа (12) зависит от начальных и граничных условий. А они, в свою очередь, могут быть установлены только экспериментально или из общих концептуальных соображений. Поэтому модель (2) также не описывает катастрофу или режим с обострением. Использование этой модели позволяет определить количество прибывшей влаги к уже имеющемуся объему воды. Продолжая процедуру накопления, человек сам определяет, является ли полученный уровень накопленной воды критическим или нет.

Предложенную выше нашу модель с сосредоточенными параметрами рассмотрим в рамках модели с распределенными параметрами. Изменение влагоемкости в почве опишем нелинейным уравнением диффузии, которое является следствием закона сохранения массы:

$$\frac{\partial UZ}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( k_0 UZ^\sigma \frac{\partial UZ}{\partial z} \right), \quad (13)$$

где  $UZ$  – влагоемкость верхней зоны подземных вод. Здесь коэффициент фильтрации является функцией от влагоемкости:  $k = k_0 UZ^\sigma$ . Причем на границе  $z = 0$ , изменение этой величины описывается уравнением (7):

$$UZ(0, t) = \frac{B}{(t_c - t)^{1/(\alpha-1)}}. \quad (14)$$

Уравнение (13) с граничным условием (14) имеет решение [Тихонов и Самарский, 1999]:

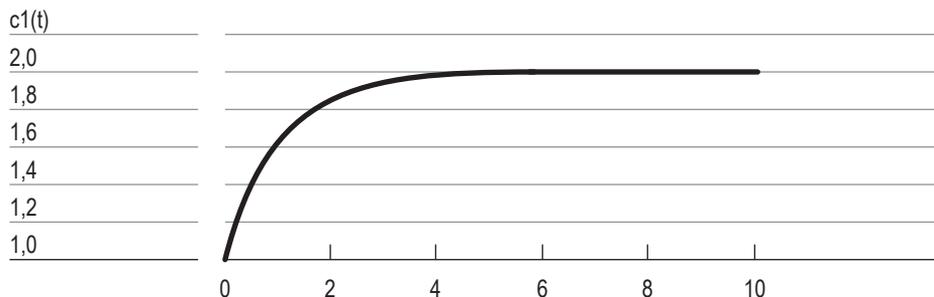


Рис. 6.

**Локализация влаги в почве при режиме с обострением.**

Fig. 6. Localization of moisture in the soil during the regime with exacerbation.

$$UZ(z, t) = \frac{B}{(t_c - t)^{1/(\alpha-1)}} f(\xi),$$

где  $\xi$  –

автомодельная переменная, равная

$$\xi = \frac{z}{k_0^{1/2} B^{\sigma/2} (t_c - t)^{\frac{\alpha-1-\sigma}{2(\alpha-1)}}}. \quad (15)$$

Из (15) вытекает, что это автомодельное решение удовлетворяет краевой задаче с граничным условием (14) и начальным условием:

$$UZ(z, 0) = \frac{B}{t_c^{1/(\alpha-1)}} f\left(\frac{z}{k_0^{1/2} B^{\sigma/2} t_c^{\frac{\alpha-1-\sigma}{2(\alpha-1)}}}\right). \quad (16)$$

В случае  $\sigma = \alpha - 1$  решение имеет вид:

$$UZ(z, t) = \begin{cases} \frac{B}{(t_c - t)^{1/(\alpha-1)}} \left(1 - \frac{z}{z_f}\right)^{2/(\alpha-1)}, & 0 \leq z \leq z_f, \\ 0, & z > z_f \end{cases} \quad (17)$$

$$z_f = \sqrt{\frac{2(\alpha + 1)}{\alpha - 1}} k_0 B^{\alpha-1}. \quad (18)$$

Из уравнения (17) следует, так называемый, *эффект локализации*. А именно, устанавливается такой режим притока и оттока влаги, что за конечное время  $t_c$  количество влаги стремится к бесконечности, но при этом граница перемещения влаги локализована в объеме  $z \leq z_f$ .

График распространения влаги вглубь почвы с течением времени представлен на рисунке 6.

Полученный выше результат можно сформулировать другими словами, а именно, когда имеет место режим с обострением, то приток влаги происходит намного быстрее оттока и влага не успевает уйти за определенную границу и происходит накопление (локализация) влаги, а это, в свою очередь, приводит к возникновению катастрофы, то есть к паводковым явлениям.

Для того чтобы указанную выше модель можно было реализовать на практике, необходима хорошая организация мониторинга бассейна реки.

### **Выводы**

1. Предложена математическая модель паводка, рассматривающая процесс накопления влаги в бассейне реки, как режим с обострением.
2. Организация мониторинга за режимом осадков над территорией бассейна реки позволит определить необходимые параметры модели, по которым можно определить время наступления катастрофы.

### **Благодарности:**

Настоящая работа выполнена при частичной финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части государственного задания (задание № 2014/216, проект 653) и гранта РФФИ, проект РФФИ № 18-33-00796.

### **Acknowledgments:**

This work was partially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation as part of the basic part of the state assignment (assignment No. 2014/216, project 653) and the RFBR grant, RFBR project No. 18-33-00796.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Schneider, U.; Finger, P.; Meyer-Christof, A.; Rustemeier, E.; Ziese, M.; Becker, A. Evaluating the hydrological cycle over land using the newly-corrected precipitation climatology from the Global Precipitation Climatology Centre (GPCC). *Atmosphere* 2017, 8, 52.
2. Oki, T.; Kanae, S. Global hydrological cycles and world water resources. *Science* 2006, 313, 1068–1072.
3. Trenberth, K.E.; Smith, L.; Qian, T.; Dai, A.; Fasullo, J. Estimates of the global water budget and its annual cycle using observational and model data. *J. Hydrometeorol.* 2007, 8, 758–769.
4. Abbott, B.W.; Bishop, K.; Zarnetske, J.P.; Hannah, D.M.; Frei, R.J.; Minaudo, C.; Chapin, F.S., III; Krause, S.; Conner, L.; Ellison, D.; et al. A water cycle for the Anthropocene. *Hydrol. Proc.* 2019.
5. Denman, K.L.; Brasseur, G.; Chidthaisong, A.; Ciais, P.; Cox, P.M.; Dickinson, R.E.; Hauglustaine, D.; Heinze, C.; Holland, E.; Jacob, D.; et al. Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L., Eds.; Cambridge Univ. Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA, 2007. Available online: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter7-1.pdf> (accessed on 28 August 2019).
6. Trenberth, K.E.; Fasullo, J.T.; Kiehl, J. Earth's global energy budget. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 2009, 90, 311–324.
7. Loeb, N.G.; Wielicki, B.A.; Doelling, D.R.; Smith, G.L.; Keyes, D.F.; Kato, S.; Manalo-Smith, N.; Wong, T. Toward optimal closure of the Earth's top-of-atmosphere radiation budget. *J. Clim.* 2009, 22, 748–766.
8. Siler, N.; Roe, G.H.; Armour, K.C.; Feldl, N. Revisiting the surface-energy-flux perspective on the sensitivity of global precipitation to climate change. *Clim. Dyn.* 2019, 53, 3983.
9. Ramanathan, V.; Crutzen, P.J.; Kiehl, J.T.; Rosenfeld, D. Aerosols, climate and the hydrological cycle. *Science* 2001, 294, 2119–2124.
10. Mercado-Bettín, D.; Salazar, J.F.; Villegas, J.C. Long-term water balance partitioning explained by physical and eco-

- logical characteristics in world river basins. *Echohydrology* 2019, 12, 2072.
11. Vergopolan, N.; Fisher, J.B. The impact of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia as observed from remote sensing. *Int. J. Remote Sens.* 2016, 37, 5412–5430.
  12. Ciemer, C.; Boers, N.; Hirota, M.; Kurths, J.; Müller-Hansen, F.; Oliveira, R.S.; Winkelmann, R. Higher resilience to climatic disturbances in tropical vegetation exposed to more variable rainfall. *Nat. Geosci.* 2019, 12, 174–179.
  13. Bonnesoeur, V.; Locatelli, B.; Guariguata, M.R.; Ochoa-Tocachi, B.F.; Vanacker, V.; Mao, Z.; Stokes, A.; Mathez-Stiefel, S.-L. Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: A systematic review. *For. Ecol. Manag.* 2019, 433, 569–584.
  14. Ellison, D. From Myth to Concept and Beyond—The BioGeo-Physical Revolution and the Forest-Water Paradigm; UNFF 13; UN: Geneva, Switzerland, 2018; p. 45.
  15. Ellison, D.; Morris, C.E.; Locatelli, B.; Sheil, D.; Cohen, J.; Murdiyarso, D.; Gutierrez, V.; van Noordwijk, M.; Creed, I.F.; Pokorny, J.; et al. Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Glob. Environ. Chang.* 2017, 43, 51–61.
  16. Häder, D.-P.; Barnes, P.W. Comparing the impacts of climate change on the responses and linkages between terrestrial and aquatic ecosystems. *Sci. Total Environ.* 2019, 682, 239–246.
  17. Korenaga, J.; Planavsky, N.J.; Evans, D.A.D. Global water cycle and the coevolution of the Earth's interior and surface environment. *Philos. Trans. R. Soc. A* 2017, 375, 0393.
  18. Gleeson, T.; Zipper, S.C.; Erlandsson, L.W.; Porkka, M.; Jaramillo, F.; Gerten, D.; Fetzer, I.; Cornell, S.E.; Piomonte, L.; Gordon, L.; et al. The water planetary boundary: A roadmap to illuminate water cycle modifications in the Anthropocene. *Earth ArXiv* 2019.
  19. Konar, M.; Garcia, M.; Sanderson, M.R.; Yu, D.J.; Sivapalan, M. Expanding the scope and foundation of sociohydrology as the science of coupled human-water systems. *Water Resour. Res.* 2019, 55, 874–887.
  20. Roobavannan, M.; Kandasamy, J.; Pande, S.; Vigneswaran, S.; Sivapalan, M. Role of sectoral transformation in the evolution of water management norms in agricultural catchments: A sociohydrologic modeling analysis. *Water Resour. Res.* 2017, 53, 8344–8365.

21. D'Odorico, P.; Carr, J.; Dalin, C.; Dell'Angelo, J.; Konar, M.; Laio, F.; Ridolfi, L.; Rosa, L.; Suweis, S.; Tamea, S.; et al. Global virtual water trade and the hydrological cycle: Patterns, drivers, and socio-environmental impacts. *Environ. Res. Lett.* 2019, 14, 053001.
22. Sun, G.; Hallema, D.; Asbjornsen, H. Ecohydrological processes and ecosystem services in the Anthropocene: A review. *Ecol. Proc.* 2017, 6, 35.
23. Abbott, B.W.; Bishop, K.; Zarnetske, J.P.; Minaudo, C.; Chapin, F.S., III; Krause, S.; Hannah, D.M.; Conner, L.; Ellison, D.; Godsey, S.E.; et al. Human domination of the global water cycle absent from depictions and perceptions. *Nat. Geosci.* 2019, 12, 533–540.
24. Smith, M.D. The ecological role of climate extremes: Current understanding and future prospects. *J. Ecol.* 2011, 99, 651–655.
25. Sivapalan, M. From engineering hydrology to Earth system science: Milestones in the transformation of hydrologic science. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2018, 22, 1665–1693.
26. Marsalek, J.; Jiménez-Cisneros, B.; Karamouz, M.; Malmquist, P.-A.; Goldenfum, J.; Chocat, B. *Urban Water Cycle Processes and Interactions*; UNESCO Water Series; Taylor & Francis: Leiden, The Netherlands, 2008; p. 152; ISBN 978-0415453462.
27. Hao, L.; Huang, X.; Qin, M.; Liu, Y.; Li, W.; Sun, G. Ecohydrological processes explain urban dry island effects in a wet region, Southern China. *Water Resour. Res.* 2018, 54, 6757–6771.
28. Peña-Guzmán, C.A.; Malgarejo, J.; Prats, D.; Torres, A.; Martínez, S. Urban water cycle simulation/management models: A review. *Water* 2017, 9, 285.
29. Lahoz, W.A.; De Lannoy, G.J.M. Closing the gaps in our knowledge of the hydrological cycle over land: Conceptual problems. *Surv. Geophys.* 2014, 35, 623–660.
30. Lettenmaier, D.P. Observational breakthroughs lead the way to improved hydrological predictions. *Water Resour. Res.* 2017, 53, 2591–2597.
31. Levizziani, V. and Cattani E. Satellite Remote Sensing of Precipitation and the Terrestrial Water Cycle in a Changing Climate. *Remote Sens.* 2019, 11, 2301; doi:10.3390/rs11192301
32. Руководство по гидрологической практике. Том II. Управление водными ресурсами и практика применения

- гидрологических методов. ВМО № 168. Шестое издание. 2012. 324 с.
33. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Изд-во МГУ. 6-е издание. 1999. 799 с.
  34. Bergström, S., 1992: The HBV model – its structure and applications. SMHI Reports RH, No. 4, Norrkping, Sweden.
  35. Bergström, S., 1995: The HBV model. In Singh, V.P. (ed): Computer Models of Watershed Hydrology, Water Resources Publications. Colorado, United States, 443, 476.
  36. DHI (Danish Hydraulic Institute), 1985: Introduction to the SHE-European Hydrologic System, Horsholm.
  37. Refsgaard, J.C. and Abbott, M.B. 1996: The role of distributed modeling in water resources management. In: M.B. Abbott and J. Ch. Refsgaard, (eds.), 1996: Distributed Hydrological Modeling, Water Science and Technology Library, Vol. 22, Kluwer, Dordrecht.

#### REFERENCES

1. Schneider, U.; Finger, P.; Meyer-Christoferson, A.; Rustemeier, E.; Ziese, M.; Becker, A. Evaluating the hydrological cycle over land using the newly-corrected precipitation climatology from the Global Precipitation Climatology Centre (GPCC). *Atmosphere* 2017, 8, 52.
2. Oki, T.; Kanae, S. Global hydrological cycles and world water resources. *Science* 2006, 313, 1068–1072.
3. Trenberth, K.E.; Smith, L.; Qian, T.; Dai, A.; Fasullo, J. Estimates of the global water budget and its annual cycle using observational and model data. *J. Hydrometeorol.* 2007, 8, 758–769.
4. Abbott, B.W.; Bishop, K.; Zarnetske, J.P.; Hannah, D.M.; Frei, R.J.; Minaudo, C.; Chapin, F.S., III; Krause, S.; Conner, L.; Ellison, D.; et al. A water cycle for the Anthropocene. *Hydrol. Proc.* 2019.
5. Denman, K.L.; Brasseur, G.; Chidthaisong, A.; Ciais, P.; Cox, P.M.; Dickinson, R.E.; Hauglustaine, D.; Heinze, C.; Holland, E.; Jacob, D.; et al. Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt,

- K.B., Tignor, M., Miller, H.L., Eds.; Cambridge Univ. Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA, 2007. Available online: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter7-1.pdf> (accessed on 28 August 2019).
6. Trenberth, K.E.; Fasullo, J.T.; Kiehl, J. Earth's global energy budget. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 2009, 90, 311–324.
  7. Loeb, N.G.; Wielicki, B.A.; Doelling, D.R.; Smith, G.L.; Keyes, D.F.; Kato, S.; Manalo-Smith, N.; Wong, T. Toward optimal closure of the Earth's top-of-atmosphere radiation budget. *J. Clim.* 2009, 22, 748–766.
  8. Siler, N.; Roe, G.H.; Armour, K.C.; Feldl, N. Revisiting the surface-energy-flux perspective on the sensitivity of global precipitation to climate change. *Clim. Dyn.* 2019, 53, 3983.
  9. Ramanathan, V.; Crutzen, P.J.; Kiehl, J.T.; Rosenfeld, D. Aerosols, climate and the hydrological cycle. *Science* 2001, 294, 2119–2124.
  10. Mercado-Bettín, D.; Salazar, J.F.; Villegas, J.C. Long-term water balance partitioning explained by physical and ecological characteristics in world river basins. *Echohydrology* 2019, 12, 2072.
  11. Vergopolan, N.; Fisher, J.B. The impact of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia as observed from remote sensing. *Int. J. Remote Sens.* 2016, 37, 5412–5430.
  12. Ciemer, C.; Boers, N.; Hirota, M.; Kurths, J.; Müller-Hansen, F.; Oliveira, R.S.; Winkelmann, R. Higher resilience to climatic disturbances in tropical vegetation exposed to more variable rainfall. *Nat. Geosci.* 2019, 12, 174–179.
  13. Bonnesoeur, V.; Locatelli, B.; Guariguata, M.R.; Ochoa-Tocachi, B.F.; Vanacker, V.; Mao, Z.; Stokes, A.; Mathez-Stiefel, S.-L. Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: A systematic review. *For. Ecol. Manag.* 2019, 433, 569–584.
  14. Ellison, D. From Myth to Concept and Beyond—The BioGeoPhysical Revolution and the Forest-Water Paradigm; UNFF 13; UN: Geneva, Switzerland, 2018; p. 45.
  15. Ellison, D.; Morris, C.E.; Locatelli, B.; Sheil, D.; Cohen, J.; Murdiyarso, D.; Gutierrez, V.; van Noordwijk, M.; Creed, I.F.; Pokorny, J.; et al. Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Glob. Environ. Chang.* 2017, 43, 51–61.
  16. Häder, D.-P.; Barnes, P.W. Comparing the impacts of climate change on the responses and linkages between terrestrial and

- aquatic ecosystems. *Sci. Total Environ.* 2019, 682, 239–246.
17. Korenaga, J.; Planavsky, N.J.; Evans, D.A.D. Global water cycle and the coevolution of the Earth's interior and surface environment. *Philos. Trans. R. Soc. A* 2017, 375, 0393.
  18. Gleeson, T.; Zipper, S.C.; Erlandsson, L.W.; Porkka, M.; Jaramillo, F.; Gerten, D.; Fetzer, I.; Cornell, S.E.; Piemontese, L.; Gordon, L.; et al. The water planetary boundary: A roadmap to illuminate water cycle modifications in the Anthropocene. *Earth ArXiv* 2019.
  19. Konar, M.; Garcia, M.; Sanderson, M.R.; Yu, D.J.; Sivapalan, M. Expanding the scope and foundation of sociohydrology as the science of coupled human-water systems. *Water Resour. Res.* 2019, 55, 874–887.
  20. Roobavannan, M.; Kandasamy, J.; Pande, S.; Vigneswaran, S.; Sivapalan, M. Role of sectoral transformation in the evolution of water management norms in agricultural catchments: A sociohydrologic modeling analysis. *Water Resour. Res.* 2017, 53, 8344–8365.
  21. D'Odorico, P.; Carr, J.; Dalin, C.; Dell'Angelo, J.; Konar, M.; Laio, F.; Ridolfi, L.; Rosa, L.; Suweis, S.; Tamea, S.; et al. Global virtual water trade and the hydrological cycle: Patterns, drivers, and socio-environmental impacts. *Environ. Res. Lett.* 2019, 14, 053001.
  22. Sun, G.; Hallema, D.; Asbjornsen, H. Ecohydrological processes and ecosystem services in the Anthropocene: A review. *Ecol. Proc.* 2017, 6, 35.
  23. Abbott, B.W.; Bishop, K.; Zarnetske, J.P.; Minaudo, C.; Chapin, F.S., III; Krause, S.; Hannah, D.M.; Conner, L.; Ellison, D.; Godsey, S.E.; et al. Human domination of the global water cycle absent from depictions and perceptions. *Nat. Geosci.* 2019, 12, 533–540.
  24. Smith, M.D. The ecological role of climate extremes: Current understanding and future prospects. *J. Ecol.* 2011, 99, 651–655.
  25. Sivapalan, M. From engineering hydrology to Earth system science: Milestones in the transformation of hydrologic science. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2018, 22, 1665–1693.
  26. Marsalek, J.; Jiménez-Cisneros, B.; Karamouz, M.; Malmquist, P.-A.; Goldenfum, J.; Chocat, B. *Urban Water Cycle Processes and Interactions*; UNESCO Water Series; Taylor & Francis: Leiden, The Netherlands, 2008; p. 152; ISBN 978-0415453462.

27. Hao, L.; Huang, X.; Qin, M.; Liu, Y.; Li, W.; Sun, G. Ecohydrological processes explain urban dry island effects in a wet region, Southern China. *Water Resour. Res.* 2018, 54, 6757–6771.
28. Peña-Guzmán, C.A.; Malgarejo, J.; Prats, D.; Torres, A.; Martínez, S. Urban water cycle simulation/management models: A review. *Water* 2017, 9, 285.
29. Lahoz, W.A.; De Lannoy, G.J.M. Closing the gaps in our knowledge of the hydrological cycle over land: Conceptual problems. *Surv. Geophys.* 2014, 35, 623–660.
30. Lettenmaier, D.P. Observational breakthroughs lead the way to improved hydrological predictions. *Water Resour. Res.* 2017, 53, 2591–2597.
31. Levizziani, V. and Cattani E. Satellite Remote Sensing of Precipitation and the Terrestrial Water Cycle in a Changing Climate. *Remote Sens.* 2019, 11, 2301; doi:10.3390/rs11192301.
32. Guide to hydrological practice. Volume II Water management and hydrological practices. WMO No. 168. Sixth Edition. 2012. 332 p.
33. Tikhonov A.N., Samarsky A.A. Equations of mathematical physics. M.: Publishing House of Moscow State University. 6th edition. 1999. 799 p.
34. Bergström, S., 1992: The HBV model – its structure and applications. SMHI Reports RH, No. 4, Norrkping, Sweden.
35. Bergström, S., 1995: The HBV model. In Singh, V.P. (ed): *Computer Models of Watershed Hydrology*, Water Resources Publications. Colorado, United States, 443, 476.
36. DHI (Danish Hydraulic Institute), 1985: *Introduction to the SHE-European Hydrologic System*, Horsholm.
37. Refsgaard, J.C. and Abbott, M.B. 1996: The role of distributed modeling in water resources management. In: M.B. Abbott and J. Ch. Refsgaard, (eds.), 1996: *Distributed Hydrological Modeling*, Water Science and Technology Library, Vol. 22, Kluwer, Dordrecht.

**Поступило в редакцию 18.05.2020,  
принята к публикации 01.06.2020**

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

- Закинян** Роберт Гургенович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры общей и теоретической физики института математики и естественных наук Северо-Кавказского федерального университета. Область научных интересов – физика атмосферы. Автор более, чем 200 научных публикаций, включая учебные пособия, монографии.
- Закинян** Артур Робертович, доктор физико-математических наук, доцент, доцент кафедры общей и теоретической физики института математики и естественных наук Северо-Кавказского федерального университета. Область научных интересов – физика конденсированного состояния, математическое моделирование физических процессов. Автор более, чем 140 научных публикаций, включая учебные пособия, монографии.

**About the authors**

- Zakinyan** Robert Gurgenovitch, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of General and Theoretical Physics of the Institute of Mathematics and Natural Sciences of the North Caucasus Federal University. The area of scientific interest is atmospheric physics. The author of more than 200 scientific publications, including textbooks, monographs.
- Zakinyan** Arthur Robertovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Assistant Professor, Department of General and Theoretical Physics, Institute of Mathematics and Natural Sciences, North Caucasus Federal University. The area of scientific interests is condensed matter physics, mathematical modeling of physical processes. The author of more than 140 scientific publications, including textbooks, monographs.

25.00.29  
УДК 551.583

ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ

Ташилова А.А.,

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия;  
tashilovaa@mail.ru

Ашабоков Б.А.,

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия; Институт информатики и проблем регионального управления КБНЦ РАН, Россия

Кешева Л.А.,

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия

Теунова Н.В.

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия

## ПРОГНОЗ ЛЕТНИХ ТЕМПЕРАТУР МЕТОДОМ СИНГУЛЯРНО-СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА НА ЮГЕ РОССИИ В 2019–2023 гг.

Введение:

В Докладе об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год говорится, что в России продолжается потепление, темпы которого намного превышают глобальное среднее по Земному шару. В последние годы мир стал свидетелем крупнейших в новейшей истории человечества природных катастроф, одной из причин которых являются аномально высокие температуры.

Материалы и методы исследований:

На основе данных метеопараметров за период 1961–2018 гг., предоставленных Северо-Кавказским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, был проведен анализ и прогноз рядов летних температур юга европейской территории России (ЕТР). В основе анализа и прогноза временных рядов лежит метод сингулярно-спектрального анализа, реализованный в программе «Caterpillar»-SSA. Метод позволяет выделить разного рода закономерности в поведении временных рядов, зачастую априори не очевидные. С помощью программы «Caterpillar»-SSA был осуществлен прогноз средних летних температур на юге ЕТР на период 2019–2023 гг.

Результаты исследований и их обсуждение:

Для возможности применения метода сингулярно-спектрального анализа были выбраны средние летние температуры по результатам критериев предпрогнозирования, определяющих устойчивость тренда: максимальное значение показателя Херста на устойчивость тренда ( $H > 0,80$ ); максимальное значение коэффициента детерминации для определения статистической значимости тренда ( $R^2 > 0,20$ ).

По результатам фрактального анализа трендоустойчивости временных рядов средних летних температур было получено максимальное значение показателя Херста, равное  $H = 0,80$ . Для выделения трендовой и периодической составляющей были использованы одна (ГК1) и три (ГК3) главные компоненты. Использование первых двадцати главных компонент (ГК20) позволило максимально точно исследовать и восстановить внутреннюю структуру всего временного ряда для последующего прогноза на 5 лет. Восстановление, аппроксимация и прогнозирование ряда осуществлялось полученной линейно-рекуррентной формулой. Качество прогноза определялось следующими критериями: стандартным отклонением прогнозируемого ряда, максимальным отклонением прогнозных значений от реальных, относительной ошибкой прогноза и результатами  $t$ -теста, проведенного для исходного и прогнозного ряда за 1998–2018 гг. при 5%-ом уровне ошибки.

Выводы:

По результатам прогноза на период 2019–2023 гг. среднелетняя температура имеет тенденцию к дальнейшему росту. В 2022 г. следует ожидать увеличения среднелетней температуры до  $22,0^{\circ}\text{C}$ , что близко к экстремально высокой среднелетней температуре  $22,2^{\circ}\text{C}$  на юге ЕТР в 2010 году.

Ключевые слова:

средние летние температуры, сингулярно-спектральный анализ, главные компоненты, прогноз, остатки модели,  $t$ -тест, тренд, юг ЕТР.

Tashilova A.A.,	High Mountain Geophysical Institute, Rosgydromet, Russia tashilovaa@mail.ru
Ashabokov B.A.,	High Mountain Geophysical Institute, Rosgydromet, Russia Institute for Computer Science and Problems of Regional Management, Federal Scientific Center "Kabardin- Balkar Scientific Center of Russian Academy of Sciences", Russia
Kesheva L.A.,	High Mountain Geophysical Institute, Rosgydromet, Russia
Teunova N.V.	High Mountain Geophysical Institute, Rosgydromet, Russia

### **The summer temperatures forecast by the method of singular-spectral analysis in the south of Russia in 2019–2023**

**Introduction:** The 2019 Climate Report on the Territory of the Russian Federation states that warming continues in Russia, the rate of which is much higher than the global average for the globe. In recent years, the world has witnessed the largest natural disasters in modern human history, one of the reasons for which are abnormally high temperatures.

**Materials and methods of the research:**

Based on the meteorological data for the period 1961–2018 provided by the North Caucasus Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring, an analysis and forecast of the series of summer temperatures in the south of the European territory of Russia (ETR) was made. The analysis and forecast of time series are based on the method of singular-spectral analysis, implemented in the program «Caterpillar»-SSA. The method makes it possible to single out various regularities in the behavior of time series, which are often not a priori obvious. Forecast of average summer temperatures in the south of the ETR for the period 2019–2023 using the program «Caterpillar»-SSA was carried out.

**The results of the study and their discussion:**

For the possibility of using the method of singular-spectral analysis, the average summer temperatures were selected according to the results of prediction criteria that determine the stability of the trend: the maximum value of the Hurst exponent on trend stability ( $H > 0,80$ ); the maximum value of the determination coefficient to determine the statistical significance of the trend ( $R^2 > 0,20$ ). According to the results of a fractal analysis of the trend persistence of average summer temperatures, the maximum value of the Hurst exponent equal to  $H = 0,80$  was obtained. To highlight the trend and periodic component, one (MC1) and three (MC3) main components were used. Using of the first twenty main components (MC20) made it possible to study and restore the internal structure of the entire time series as accurately as possible for a subsequent forecast for 5 years. The restoration, approximation and forecasting of the series was carried out by the obtained linear-recurrence formula. The forecast quality was determined by the following criteria: the standard deviation of the forecast series, the maximum deviation of the forecast values from the real ones, the relative forecast error and the results of the  $t$ -test conducted for the initial and forecast series for 1998–2018 at 5% error rate.

**Conclusions:**

According to the forecast for the period 2019–2023 average summer temperature tends to further increase. In 2022, one should expect an increase in average summer temperature to 22,0°C, which is close to the extremely high average summer temperature of 22,2°C in the south of the ETR in 2010.

**Keywords:**

average summer temperatures, singular spectral analysis, main components, forecast, model residuals,  $t$ -test, trend, South ETR.

## ВВЕДЕНИЕ

В Докладе об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год говорится, что в 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»  $0,47\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  лет. Это более чем в два с половиной раза больше скорости роста глобальной температуры за тот же период:  $0,18\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  лет, и более чем в полтора раза больше средней скорости потепления приземного воздуха над сушей Земного шара:  $0,28\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  лет (оценки по данным Центра Хэдли и Университета Восточной Англии). Температура каждого последующего десятилетия с 1980 г. превышала температуру предыдущего [6].

В последние годы мир стал свидетелем крупнейших в новейшей истории человечества природных катастроф, одной из причин которых являются аномально высокие температуры.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В данной работе на основе данных метеопараметров, предоставленных Северо-Кавказским УГМС, был проведен анализ рядов летних температур юга европейской территории России (ЕТР) за период 1961–2018 гг.

Существуют две основные цели анализа рядов метеопараметров: определение внутренней структуры ряда и прогнозирование (предсказание будущих значений временного ряда по настоящим и прошлым значениям). Метод анализа временных рядов «Caterpillar»-SSA, в основе которого лежит сингулярно-спектральный анализ, позволяет выделить разного рода закономерности в поведении временных рядов, зачастую априори не очевидные [4, 5]. Техническую основу метода составляет сингулярное разложение матрицы, столбцами которой являются вектора – отрезки ряда длины  $L$ , основного параметра метода, называемого шириной окна [7].

С помощью программы «Caterpillar»-SSA был проведен прогноз средних летних температур за период 2019–2023 гг.

Для возможности применения метода SSA были выбраны средние летние температуры по результатам критериев предпрогнозирования, определяющих устойчивость тренда:

- максимальное значение показателя Херста на устойчивость тренда ( $H > 0,80$ );
- максимальное значение коэффициента детерминации для определения статистической значимости тренда ( $R^2 > 0,20$ ) [8].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения статистической значимости тренда были использованы критерий Фишера ( $F$ -тест) и критерий Стьюдента ( $t$ -тест). Регрессионная статистика рядов средних летних температур юга ЕТР за 1961–2018 гг., включающая в себя угловой коэффициент с ошибкой, коэффициент детерминации  $R^2$ , статистику Фишера, статистику Стьюдента для определения статистической значимости (на 5%-ном уровне) полученных коэффициентов, представлена в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, значимость  $t$ -теста и  $F$ -теста меньше допустимой ошибки  $p = 0,05$  ( $Sig. = 0,00$  при  $p < 0,05$ ), следовательно, угловые коэффициенты линейного тренда  $a = 0,037$  °C/год (лето) с  $R^2 = 0,386$  статистически значимы, тренд устойчив и к исходному ряду можно применить метод SSA с целью прогнозирования.

Таблица 1. СТАТИСТИКИ РЯДА ЛЕТНИХ ТЕМПЕРАТУР ЮГА ЕТР ЗА 1961–2018 гг.  
Table 1. Statistics of the summer temperatures in the South ETR for 1961–2018

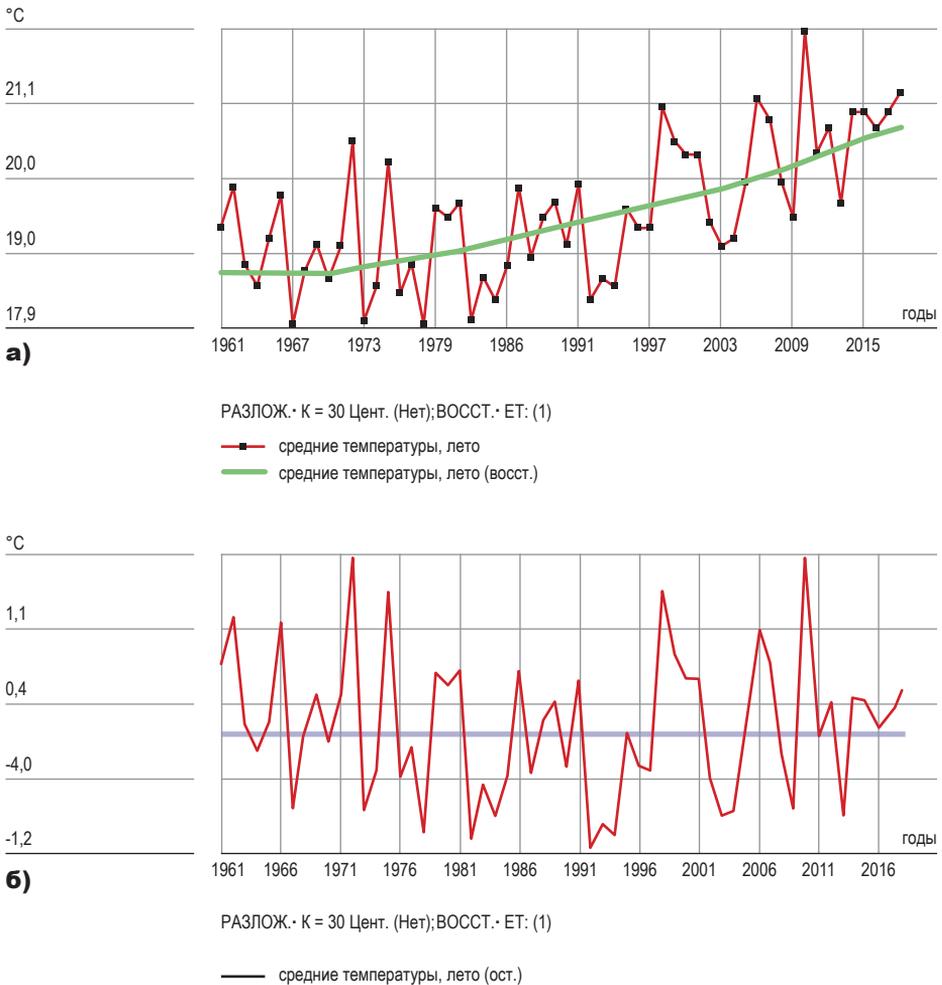
$Y = ax + b$	лето
Коэффициент регрессии $a$ , °C /год . . . . .	0,037
Ошибка коэффициента $a$ . . . . .	0,006
Коэффициент детерминации $R^2$ . . . . .	<b>0,386</b>
$F$ -критерий для $df = 56$ . . . . .	35,190
$t$ -тест (критерий Стьюдента) . . . . .	6,17
Значимость $Sig.$ $t$ -теста на 5%-ном уровне ( $p < 0,05$ ) . . . . .	<b>0,00</b>
Значимость $Sig.$ $F$ -крит. на 5%-ном уровне ( $p < 0,05$ ) . . . . .	0,00

По результатам фрактального анализа трендоустойчивости ряда средних летних температур было получено максимальное значение показателя Херста, равное  $H = 0,80$ . Полученные данные удовлетворяют критериям предпрогнозирования, что позволило выбрать ряд средних летних температур для проведения прогноза на 5 лет (2019–2023 гг.)

Проведем анализ **средней летней температуры** юга ЕТР за период 1961–2018 гг. методом сингулярно-спектрального анализа (SSA) с дальнейшим прогнозом на пять лет 2019–2023 гг. [2].

Для исследования структуры ряда было проведено преобразование, разложение, группировка и восстановление ряда, для чего использовался вариант метода SSA без центрирования матрицы наблюдений, соответствующей исходному ряду [1, 3].

Качество прогностических оценок в методе SSA зависит от того, какие собственные векторы выбраны для восстановления ряда, а так-

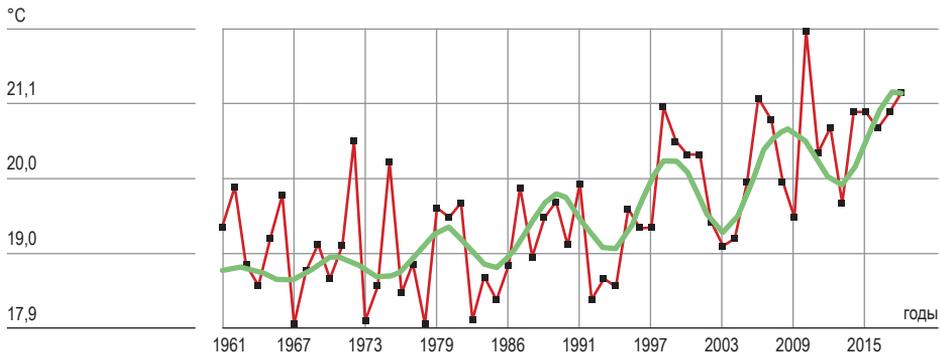


**Рис. 1.** а) исходный и восстановленный ряды (1 главная компонента); б) ряд остатков для восстановленного ряда.

Fig. 1 a) the original and restored series (1 main component); b) series of residues for the restored row

же от ширины окна  $L$  [4]. Для анализа структуры временного ряда были подобраны оптимальные параметры – ширина окна  $L = 29$  с количеством вложенных векторов  $K = 30$  ( $K = 58 - 29 + 1$ ). На этапе «группировка» выберем из полученных 30 компонент одну первую главную компоненту для восстановления ряда. На рисунке 1а для исходного ряда (красный) представлены результаты восстановления (зеленый) по первой главной компоненте, которая относится к тренду, медленно меняющейся компоненте ряда, не содержащая колебательных компонент.

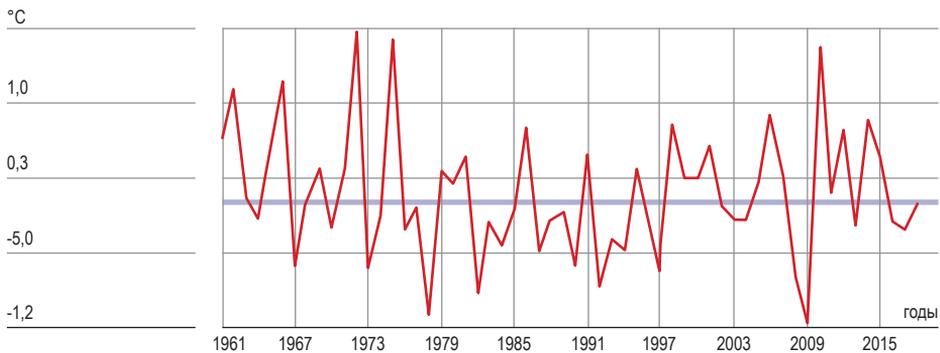
На рисунке 1б видно, что восстановленный ряд имеет достаточно большой разброс остатков.



а)

Разлож. · К = 30 Цент. (Нет); ВОССТ. · ЕТ: (1 · 3)

—■— средние температуры, лето  
— средние температуры, лето (восст.)



б)

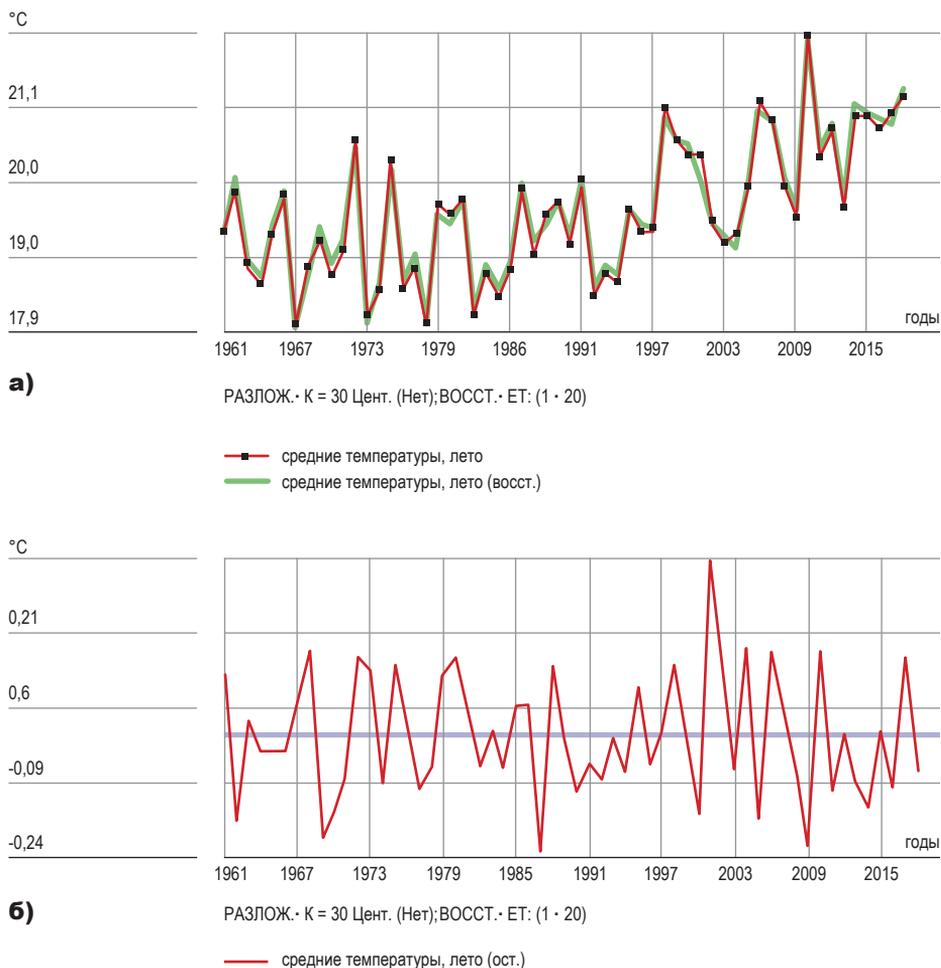
— средние температуры, лето (ост.) РАЗЛОЖ. · К = 30 Цент. (Нет); ВОССТ. · ЕТ: (1 · 3)

**Рис. 2.** а) исходный и восстановленный ряды (3 главные компоненты);  
б) ряд остатков для восстановленного ряда.

Fig. 2. a) the original and restored series (3 main components);  
b) series of residues for the restored row.

Для уточнения восстановленного ряда и восстановления периодичностей к первой компоненте добавим две последующие ГК (ГК 2 – 4,15% объясненной дисперсии; ГК 3–4,11%). На рисунке 2а представлены результаты восстановления по ГК 1–3, которые соответствуют десятигодовой периодике, выраженной наиболее ярко. Разброс остатков восстановленного ряда уменьшился и принимает значения от  $-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 2б).

Правильно выбранное количество ГК (собственные тройки) необходимо для точного разделения сигнала (гармоники) от шума.



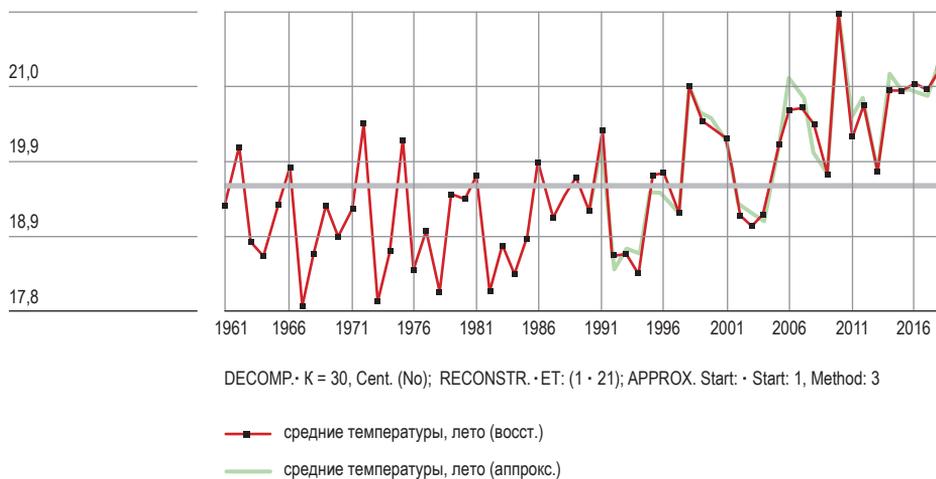
**Рис. 3.** а) Исходный и восстановленный ряды (20 главных компонент); б) ряд остатков для восстановленного ряда.

Fig. 3. a) The original and restored series (20 main components);

b) series of residues for the restored row.

Таким образом, с помощью SSA можно получить основные компоненты временного ряда: трендовую (ГК1) и периодическую ( $> \text{ГК3}$ ). Вклад суммы основных компонентов (ГК1–20) в исходный процесс составляет по убыванию: ГК1 (41,157%), ГК2 (8,640%), ГК3 (7,514%), ГК4 (6,440%), ..., ГК12 (1,184%), ГК13 (0,807%), ГК (0,002%).

На рис. 3а представлены два ряда, почти совпадающие по траектории, восстановленный (зеленый) и исходный ряд (красный). Выбранные главные компоненты 1–20 дают максимальную точность в восстановлении ряда, имеется минимальная разница в остатках; по одному значению « $-0,24 \text{ }^\circ\text{C}$ » в 1986 г. и « $+0,36 \text{ }^\circ\text{C}$ » в 2000 г. (рис. 3б).



**Рис. 4. Реконструированные и аппроксимированные ряды.**

Fig. 4. Reconstructed and approximated series.

Таким образом, использование первых двадцати главных компонент позволило максимально точно исследовать и восстановить внутреннюю структуру всего временного ряда (1961–2018 гг.).

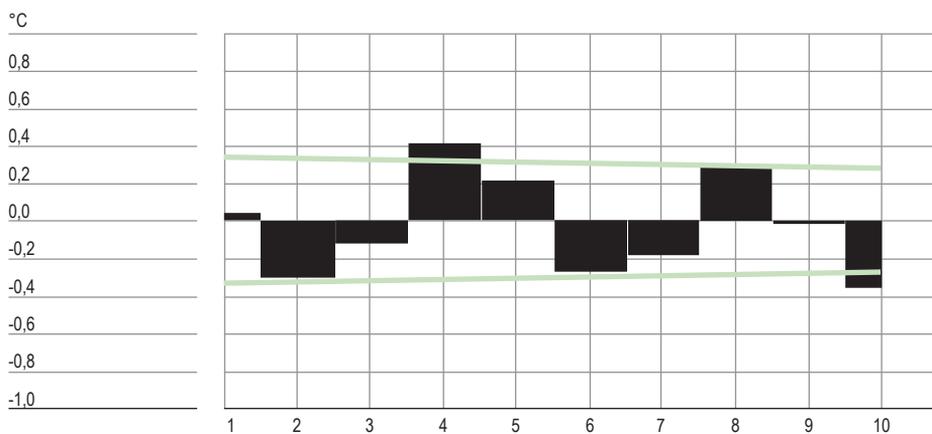
Суммируя матрицы внутри каждого набора и затем, переходя от результирующих матриц внутри каждого набора к ряду, получаем восстановленный ряд из аддитивных слагаемых, состоящих из тренда 1ГК, периодики 1–20 ГК и шума 21–29 ГК или на сумму низкочастотной и высокочастотной составляющих.

Далее на этапе аппроксимации, используя выбранные компоненты, строится аппроксимированный ряд (рис. 4).

Для подтверждения адекватности модели исходному ряду необходимо доказать, что ряд остатков является случайным и подчиняется нормальному закону распределений. Поэтому следующее предположение состоит в том, что ряд остатков (ошибок), на основе которого строится прогноз, должен состоять из независимых одинаково распределенных случайных величин. Таким образом, остатки должны быть некоррелированные и нормально распределены.

На рисунке 5 видно, что автокорреляционная функция в целом подтверждает некоррелированность остатков. Сравнение теоретической и эмпирической функций распределения подтверждает нормальность остатков (значимость: Sig = 0,481).

Таким образом, можно считать, что структура временного ряда выявлена и восстановлена, поэтому продолжим эту структуру, строя

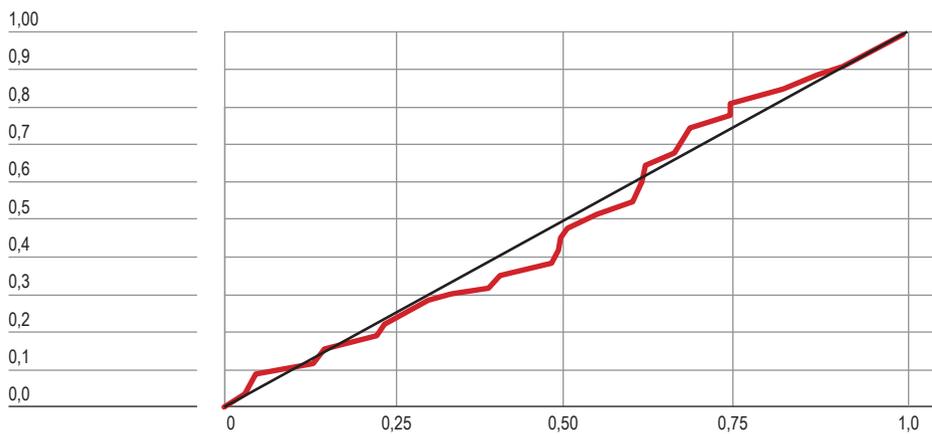


а)

РАЗЛОЖ. К = 30 Цент. (Нет); ВОССТ. ЕТ: (1-20);

АППРОКС. Начало: 1, Метод: 2

ЗНАЧИМОСТИ: крит. Аббе = 0,807 (-), БКР крит. = 0,415, крит. фаз. = 0,843



б)

РАЗЛОЖ. К = 30 Цент. (Нет); ВОССТ. ЕТ: (1-20); АППРОКС. Начало: 1, Метод: 2

ЗНАЧИМОСТИ: крит. Аббе = 0,807 (-), БКР крит. = 0,415, крит. фаз. = 0,843

Значимость:  $w^2 = 0,481$ 

— эмпирическая ф. р.  
— теоретическая ф. р.

Рис. 5.

Проверка остатков на нормальность распределения.

Fig. 5. Checking residues for normal distribution.

тем самым прогноз (продолжение) временного ряда. В одномерном методе SSA такую структуру задает линейная рекуррентная формула (ЛРФ), управляющая рядом:

$$f_{j+d} = \sum_{k=1}^d a_k f_{j+d-k},$$

где  $a_d \neq 0$  (1)

Метод SSA позволяет находить коэффициенты линейной рекуррентной формулы, управляющей рядом (или его составляющей) и, следовательно, продолжить ряд [5].

Если два корня являются комплексно-сопряженными:

$$\lambda_1 = a + b\lambda_1 = a - b\lambda_1$$

то оба корня задаются точкой  $(a, b)$  на комплексной плоскости (рис. 6).

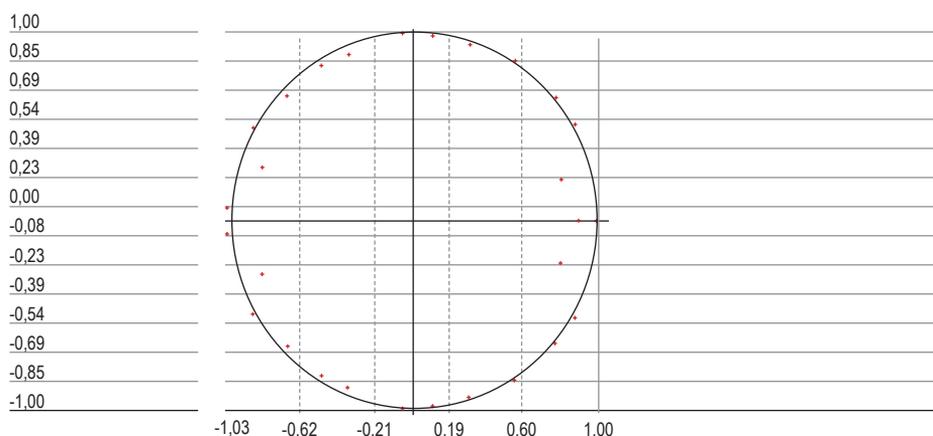
В случае выделения гармоник соответствующие комплексно-сопряженные корни полинома лежат на единичной окружности комплексной плоскости. В случае с рядом средних летних температур таких гармоник выделено достаточно много, что видно из рисунка 6 – большинство точек лежат на окружности.

Асимптотическое поведение компоненты ряда, соответствующей вещественному корню, существенно зависит от  $\rho$ . При  $\rho < 1$  амплитуда гармонической функции уменьшается, при  $\rho > 1$  амплитуда гармоники возрастает.

Корни характеристического полинома гармоник, полученные для прогноза (способ рекуррентный, ширина окна  $L = 29$ , количество главных компонент ГК = 20), лежат на окружности единичного радиуса (рис. 6) и представлены в таблице 2.

Используя корни характеристического полинома, были определены коэффициенты для линейно-рекуррентной формулы (2), описывающей восстановленный ряд. Воспользуемся таблицей 2 с комплексно-сопряженными корнями и восстановим коэффициенты главной линейно-рекуррентной формулы:

- 1-я строка соответствуют комплексно-сопряженному корню, порождающему гармоники с периодом, равным  $T = 2,04$  года ( $\approx 2$  года);
- 2–5-я строки соответствуют гармоникам  $T = 11,91$  года ( $\approx 12$  лет),  $T = 9,025$  лет ( $\approx 9$  лет),  $T = 6,346$  лет ( $\approx 6$  лет),



Decomp.· k = 30, Cent. (No); reconstr.· et: (1-21);

Рис. 6.

**Окружность единичного радиуса с корнями характеристического полинома гармоник (ось x – действительная часть корня, ось y – мнимая часть корня).**

Fig. 6. The circle of a unit radius with the roots of the characteristic harmonic polynomial (the x axis is the real part of the root, the y axis is the imaginary part of the root).

$T = 3,856$  лет ( $\approx 4$  года), их амплитуда увеличивается, поскольку модули амплитуды больше единицы  $\rho > 1$  ( $\rho_{1-5} = 1,027; 1,025; 1,017; 1,017; 1,005 > 1$ );

- 6-я строка соответствует вещественному корню с модулем  $\rho = 1,003$  ( $\varphi = 0$ , период-бесконечность), является коэффициентом первого члена ЛРФ.

Используя коэффициенты из таблицы комплексно-сопряженных корней (табл. 2), получим формулу для ряда, управляемого минимальной ЛРФ:

$$\begin{aligned}
 f_n = & C_1 1,003^n + C_2 1,027^n \cos(2\pi n/2,043 + \varphi_2) + C_3 1,025^n \cos(2\pi n/11,919 + \varphi_3) + \\
 & + C_4 1,017^n \cos(2\pi n/9,025 + \varphi_4) + C_5 1,017^n \cos(2\pi n/6,46 + \varphi_5) + \\
 & + C_6 1,005^n \cos(2\pi n/3,857 + \varphi_6) + C_7 1,002^n \cos(2\pi n/2,393 + \varphi_7) \quad (2)
 \end{aligned}$$

Коэффициенты  $C_i$  и  $\varphi_i$  определяются начальными данными.

Таблица 2. ТАБЛИЦА КОМПЛЕКСНО-СОПРЯЖЕННЫХ КОРНЕЙ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО ПОЛИНОМА СРЕДНИХ ЛЕТНИХ ТЕМПЕРАТУР ЮГА ЕТР  
Table 2. A table of complex conjugate roots of a characteristic polynomial of average summer temperatures in the South ETR

пп	Реальная часть, а	Мнимая часть, ib	Модуль р	Фаза ф	Период Т	Комплексность
1	-1,025	0,068	1,027	3,075	2,043	1
2	0,886	0,516	1,025	0,527	11,919	1
3	0,780	0,652	1,017	0,696	9,025	1
4	0,558	0,850	1,017	0,990	6,346	1
5	-0,059	1,003	1,005	1,629	3,856	1
6	1,003	0,000	1,003	0,000	1,00E+100	0
7	-0,872	0,495	1,002	2,625	2,393	1
8	0,111	0,983	0,989	1,458	4,308	1
9	0,306	0,940	0,989	1,257	5,000	1
10	-0,503	0,827	0,968	2,118	2,967	1
11	-0,699	0,667	0,966	2,380	2,640	1
12	-0,352	0,884	0,952	1,950	3,223	1
13	0,903	0,000	0,903	0,000	1,00E+100	0
14	-0,822	0,280	0,868	2,813	2,234	1
15	0,805	0,221	0,835	0,267	23,498	1

Можно отметить, что имеются две гармоники с периодами 12 и 9 лет, совпадающие с периодами солнечной активности (9–13 лет). Линейно-рекуррентная формула (2) используется для аппроксимации ряда (рис. 7).

После восстановления и аппроксимации ряда линейно-рекуррентной формулой (2) можно осуществить прогнозирование ряда (синяя ломаная, рис. 8). Для проверки качества прогноза использовали период упреждения с 1998 по 2018 г. (20 лет) и продолжили прогноз на следующие пять точек с 2019 по 2023 г. Вертикальная черная линия отделяет начало прогноза от фактических данных.

Качество прогноза определялось следующими характеристиками:

Таблица 3. ОДНОВЫБОРОЧНЫЙ Т-КРИТЕРИЙ  
Table 3. One-sample t-test

Период 1999–2018 гг.	Проверяемое значение = 20,53 (исходный ряд)					
	t	ст. св.	Значи- мость (2-сто- рон- няя)	Разность средних	95% доверительный интервал разности средних	
					Нижняя граница	Верхняя граница
Средняя летняя температура (восстановленный ряд)	-1,433	20	0,167	-0,24429	-0,5999	0,1113

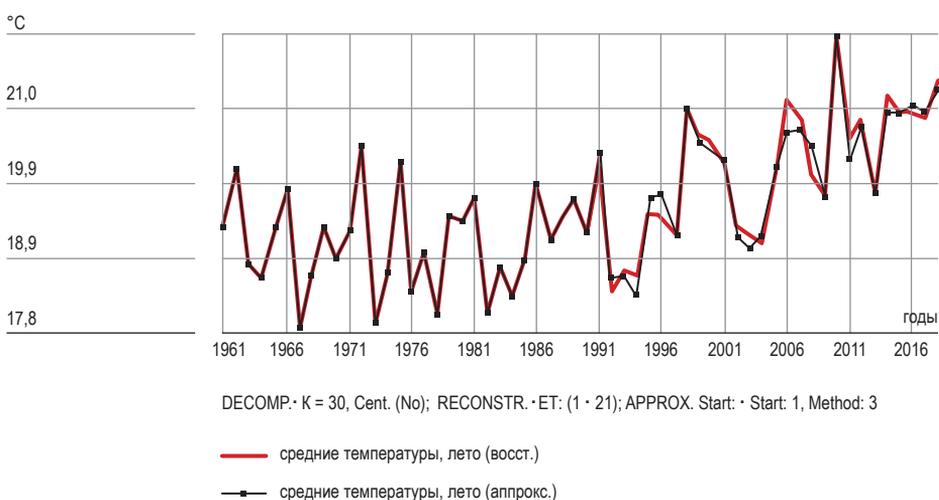
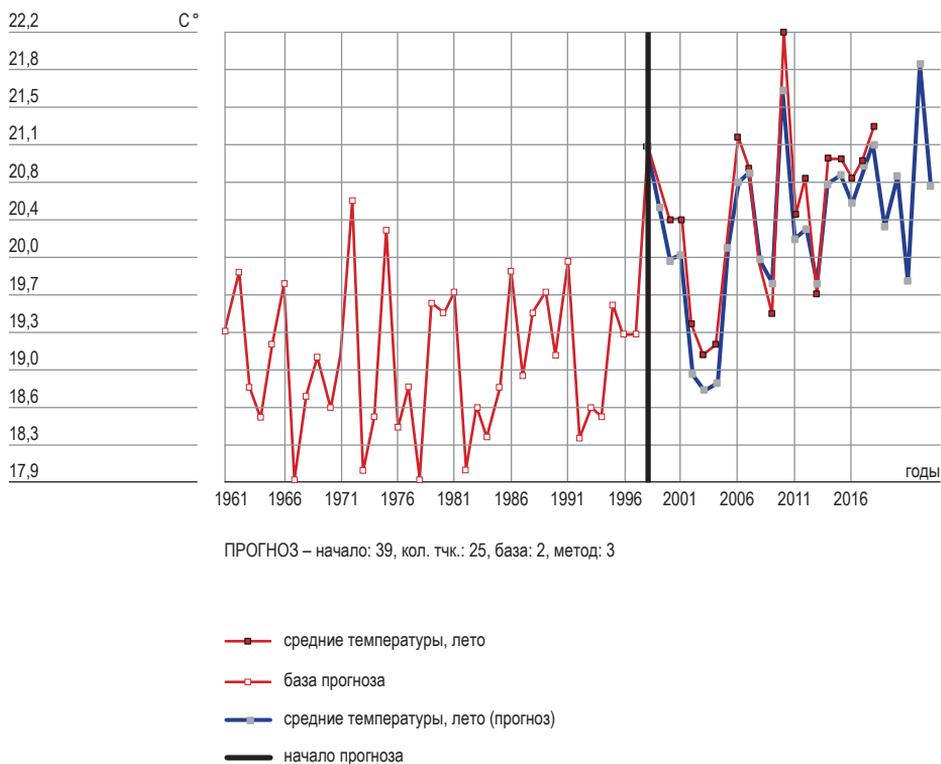


Рис. 7. Реконструированные и аппроксимированные ряды средних летних температур юга ЕТР, 1961–2018 гг.

Fig. 7. Reconstructed and approximated series of average summer temperature in the South ETR, 1961–2018.

стандартное отклонение прогнозируемого ряда, максимальное отклонение прогнозных значений от реальных, относительная ошибка прогноза и  $t$ -тест, проведенный для двух рядов: исходного и прогнозного за 1998–2018 гг.

Для выяснения имеется ли статистически значимое различие между средним значением (восстановленного) прогнозного ряда  $T_{пр.} = 20,29^\circ\text{C}$  (1998–2018 гг.) и тестовым средним значением фактического ряда  $T_{ф.} = 20,53^\circ\text{C}$  (1998–2018 гг.) проведем  $t$ -тест (критерий Стьюдента) (табл. 3). Сформулируем «нулевую гипотезу»: среднее значение средне-летней температуры реального ряда за 1998–2018 гг. и среднее значение температуры восстановленного ряда за этот же период статистически равны.



**Рис. 8.** Прогноз ряда *средней летней температуры* рекуррентным способом на 2019–2023 гг. ( $K = 30$ , ГК [1–20]).

Fig. 8. Forecast of the series of average summer temperatures in a recurrent method for 2019–2023 ( $K = 30$ , MC [1–20]).

При отклонении этой гипотезы имеем, что уровень значимости превышает допустимую ошибку  $Sig. = 0,167 > 0,05$  (при 95%-ном доверительном интервале). Следовательно, гипотезу отклонить нельзя и среднее значение летней температуры для восстановленного ряда на период 1999–2018 гг. *статистически незначимо* отличается от среднего (тестового) значения реальных данных за этот же период:  $20,53\text{ }^{\circ}\text{C} \approx 20,29\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, фактический и прогнозный ряд имеют статистически незначимые различия, что говорит о качественной модели восстановления структуры ряда.

Относительная ошибка прогноза (%) вычисляется по формуле:

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_{\phi} - y_{np}}{y_{\phi}} \right| \cdot 100\%$$

где  $y_{np}$  – прогнозные значения на интервале упреждения 1999–2018 гг.;

Таблица 4.

ПРОГНОЗ СРЕДНЕЙ ЛЕТНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ на 2019–2023 гг.

Table 4. The forecast for the average summer temperature for 2019–2023

№	Годы	Исходный ряд, °С	Восстановленный ряд, °С	№	Годы	Исходный ряд, °С	Восстановленный ряд, °С
1	1961	19,4	—	51	2011	20,4	20,2
	...	...	...	52	2012	20,8	20,3
38	1998	21,1	21,1	53	2013	19,7	19,8
39	1999	20,6	20,5	54	2014	21,0	20,8
40	2000	20,4	20,0	55	2015	21,0	20,8
41	2001	20,4	20,0	56	2016	20,8	20,6
42	2002	19,4	18,9	57	2017	21,0	20,9
43	2003	19,1	18,8	58	2018	21,3	21,2
44	2004	19,2	18,8	среднее		20,53 °С	20,29 °С
45	2005	20,0	20,2	Периоды (годы)		2; 12; 9; 6; 4	
46	2006	21,2	20,8	59	2019	—	20,3
47	2007	20,9	20,8	60	2020	—	20,9
48	2008	20,0	20,1	61	2021	—	19,7
49	2009	19,5	19,7	62	2022	—	22,0
50	2010	22,2	21,7	63	2023	—	20,6

$У_{ф}$  – фактические значения на этом же интервале 1999–2018 гг. Результаты прогноза на 2019–2023 гг. представлены в таблице 4.

Качество прогноза средней летней температуры:

1. Стандартное отклонение 0,31 °С;
2. Максимальное отклонение 0,556 °С;
3.  $T$ -тест Sig = 0,907 (на 5%-ном уровне): средние летние температуры статистически равны на периоде упреждения 1999–2018 гг. : 20,53 °С  $\approx$  20,21 °С.
4. Относительная ошибка  $\delta = 1,17\%$ .

### **ВЫВОДЫ**

В результате проведенных исследований получено, что прогноз рекуррентным способом с параметрами ( $K = 20$  и ГК 20), является достаточно точным. Ошибка прогноза составляет  $\delta = 1,17\% < 20\%$ , что свидетельствует о высокой точности модели. С высоким уровнем значимости  $\text{Sig.} = 0,907 > 0,05$  среднее значение исходного ряда средней летней температуры  $20,53\text{ }^\circ\text{C}$  за период 1998–2018 гг. статистически равно среднему значению прогнозируемого ряда  $20,29\text{ }^\circ\text{C}$  за этот же период. Следовательно, структура ряда при параметрах  $K = 20$  и ГК 20 восстановлена максимально точно. По результатам прогноза на период 2019–2023 гг. получено, что среднелетняя температура имеет тенденцию к дальнейшему росту. В 2022 г. следует ожидать увеличения среднелетней температуры до  $22,0\text{ }^\circ\text{C}$ , что близко к экстремально высокой среднелетней температуре  $22,2\text{ }^\circ\text{C}$  на юге ЕТР в 2010 году.

**Работа выполнена при финансовой поддержке  
Русского географического общества.  
Договор №12/2019-Р от 20 мая 2019 г.**

### **Библиографический список**

1. Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А. Результаты прогноза снежного покрова в Кавказском регионе методом сингулярно-спектрального анализа. Журнал Науки о земле «Наука. Инновации. Технологии». №4. 2018. Ставрополь. С. 65–76.
2. Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А. Тенденции изменения сумм осадков и средней температуры за периоды 1961–2011 гг. и 1976–2011 гг. на юге Европейской территории России (ЕТР). II Международная научная конференция с элементами научной школы «Инновационные методы и средства исследований в области физики атмосферы, гидрометеорологии, экологии и изменения климата». Ставрополь, 21–25 сентября, 2015 г. С. 140–146.
3. Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В. Прогноз среднедекадной высоты снежного покрова и числа дней со снегом на юге России на 2018–2022 гг. Третья международная научная конференция с элементами научной школы «Инновационные методы и средства исследований в области физики атмосферы, гидрометеорологии, экологии и изменения климата». 24–28 сентября 2018. Россия, Ставро-

- поль. С. 182–186.
4. Голяндина Н. Э. Метод «Гусеница» – SSA: прогноз временных рядов: учебное пособие: СПб: Изд-во С.-Петербургский гос. университет, 2004. 52 с.
  5. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: Учеб. пособие. СПб: С. Петербургский гос. университет, 2004. 76 с.
  6. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. Бардин М.Ю., Егоров В.И., Николаева А.М., Платова Т.В., Ранькова Э.Я. и др. Москва, 2020. 97 стр.
  7. Ташилова А.А., Кешева Л.А., Балкарова С.Б., Шогенова М.М., Пшихачева И.Н., Таубекова З.А. Структурный анализ и прогноз зимних осадков методом «CATERPILLAR»-SSA Доклады Адыгской (Черкесской) Международной академии наук. 2013. Т. 15. № 1. С. 106–114.
  8. Ташилова А.А., Кешева Л.А., Пшихачева И.Н., Таубекова З.А. Возможности прогнозирования временного климатического ряда с помощью метода «Гусеница»-SSA. Сборник научных трудов Международной научной конференции с элементами научной школы «Инновационные методы и средства исследований в области физики атмосферы, гидрометеорологии, экологии и изменения климата». Ставрополь, 23–26 сентября 2013. С. 86-89.
  9. Ashabokov B.A., Tashilova A.A., Kesheva L.A. The results of the forecast of snow cover in the Caucasus region by the method of singular-spectral analysis. Journal of Earth Sciences “Science. Innovation Technology». Number 4. 2018. Stavropol. Pp. 65–76.
  2. Ashabokov B.A., Tashilova A.A., Kesheva L.A. Trends in precipitation and average temperature over the periods 1961–2011 and 1976–2011 in the south of the European territory of Russia (ETR). II 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, September 21–25, 2015. Pp. 140–146.
  3. Ashabokov B.A., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Teunova N.V. The forecast of the average decade's snow depth and the number of days with snow in the south of Russia for 2018–2022. 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». September 24–28, 2018. Russia, Stavropol. Pp. 182–186.
4. Golyandina N.E. The Caterpillar Method – SSA: Time Series Forecast: Tutorial: St. Petersburg: Publishing House S. Petersburg State. University, 2004. 52 p.
  5. Golyandina N.E. Method «Caterpillar»-SSA: time series analysis: Textbook. allowance. SPb: S. Petersburg State. University, 2004. 76 p.
  6. 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.
  7. Tashilova A.A., Kesheva L.A., Balkarova S.B., Shogenova M.M., Pshikhacheva I.N., Taubekova Z.A. Structural analysis and forecast of winter precipitation by the «CATERPILLAR»-SSA method. Reports of the Adyghe (Circassian) International Academy of Sciences. 2013. Vol. 15. No. 1. Pp. 106–114.
  8. Tashilova A.A., Kesheva L.A., Pshikhacheva I.N., Taubekova Z.A. Possibilities for predicting the time series using the Caterpillar-SSA method. Collection of scientific papers of the 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, September 23–26, 2013. Pp. 86–89.

**Поступило в редакцию 26.03.2020,  
принята к публикации 01.06.2020.**

#### **ОБ АВТОРАХ**

**Ташилова** Алла Амарбиевна, кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела физики 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.

**Ашабоков** Борис Азреталиевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом физики облаков Феде-

рального 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.

**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, научный сотрудник 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

**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.

**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-Balkarian Research Center, Russian Academy

of Sciences». Address: Russia, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Lenin Ave., 2. Scopus ID: 6505916110.

Researcher ID: K-4299-2015. Phone: (928) 707-29-52.

E-mail: ashabokov.boris@mail.ru.

**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-Balkarian 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, 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: 57191571952. Researcher ID: K-4312-2015.  
Phone: (903) 492-99-64. E-mail: nata0770@yandex.ru.

Т  
Ь

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

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

Подписано в печать 23.06.2020 г. Выход в свет 30.06.2020 г.  
Формат 70 × 108 1/16. Гарнитура Times New Roman. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 8,26. Тираж 1000 экз. Цена 534 руб.

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