УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

№ 8 2022

ISSN 1681-7494

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,791

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,380

Журнал издается с 2001 г.

Электронная версия: http://www.natural-sciences.ru

Правила для авторов: http://www.natural-sciences.ru/ru/rules/index Подписной индекс по электронному каталогу «Почта России» – П7816

Главный редактор Ледванов Михаил Юрьевич, д.м.н., профессор

Зам. главного редактора Курзанов Анатолий Николаевич, д.м.н., профессор

Ответственный секретарь редакции Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.с.-х.н., доцент Абдулвалеев Р.Р. (Уфа); д.г.-м.н., проф., Абилхасимов Х.Б. (Астатна); д.т.н., проф. Айдосов А. (Алматы); д.г.-м.н., проф., Алексеев С.В. (Иркутск); д.х.н., проф., Алоев В.З. (Напьчик); д.г.н., проф. Андреев С.С. (Ростов-на-Дону); д.г.н., доцент, Андреева Е.С. (Ростов-на-Дону); д.с.-х.н., проф. Байрамбеков Ш.Б. (Камызак); д.т.н., проф. Бейсембаев К.М. (Караганда); д.т.н., проф. Бейсембаев К.М. (Караганда); д.т.н., проф. Белозеров В.В. (Ростов-на-Дону); д.б.н., доцент Белоус О.Г. (Сочи); д.с.-х.н., проф. Берсон Г.З. (Великий Новгород); д.г.-м.н., проф. Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.т.н., проф. Берсон Г.З. (Великий Новгород); д.г.-м.н., проф. Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.т.н., проф. Берсон Г.З. (Великий Новгород); д.г.-м.н., проф. Гусев А.И. (Бийск); д.с.-х.н., Горбачева А.Г. (Пятигорск); д.с.-х.н., Горянин О.И. (Самара); д.г.-м.н., проф. Гусев А.И. (Бийск); д.с.-х.н., проф. Данилин И.М. (Красноярск); д.б.н., доцент Долгов А.В. (Мурманск); д.э.н., проф. Доляговский В.А. (Ростов-на-Дону); д.х.н., проф. Дресвянников А.Ф. (Казань); д.г.н., проф. Егорина А.В. (Усть-Каменогорск); д.т.н., проф. Ерофеев В.И. (Томск); д.с.-х.н., проф. Залесов С.В. (Екатеринбург); д.с.-х.н., доцент Захарченко А.В. (Томск); д.с.-х.н., проф. Залесов С.В. (Екатеринбург); д.с.-х.н., проф. Караев М.К. (Махачкала); д.г.-м.н., проф. Кашаев А.А. (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. Кобрунов А.И. (Ухта); д.г.-м.н., доцент Кавцевич Н.Н. (Мурманск); д.т.-м.н., проф. Калякин С.А. (Донецк); д.с.-х.н., проф. Костывын В.И. (Пермь); д.с.-х.н., проф. Костывын В.И. (Пермь); д.г.-м.н., проф. Костывын В.И. (Пермь); д.г.-м.н., проф. Костивын В.И. (Пермь); д.г.-м.н., проф. Костывын В.И. (Крастов-на-Дону); д.т.н., доцент Кузяков О.Н. (Тюмень); д.г.-м.н., проф. Кучеренко И.В. (Томск); д.б.н., проф. Ларионов М.В. (Саратов); д.г.-м.н., проф. Меленьков А.И. (Мукутск); д.т.н., проф. Мусаев В.К. (Москва); д.г.-м.н., проф. Меленьков А.И. (Мукутск); д.г.-м.н., проф. Партовок И.В. (Саратов); д.г.-м.н., проф. Партовок И.В. (Саратов); д.г.-м.н., проф. Партово

Журнал «УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство – ПИ № ФС 77-63398.

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатный.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,791.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,380.

Журнал зарегистрирован в Centre International de l'ISSN. ISSN 1681-7494.

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

Учредитель, издательство и редакция: ООО ИД «Академия Естествознания»

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции и издателя: 440026, Пензенская область, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

Ответственный секретарь редакции Бизенкова Мария Николаевна +7 (499) 705-72-30 E-mail: edition@rae.ru

Подписано в печать — 31.08.2022 Дата выхода номера — 30.09.2022

Формат 60х90 1/8 Типография ООО «Научно-издательский центр Академия Естествознания», 410035, Саратовская область, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка

Доронкина Е.Н.

Корректор

Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.

Способ печати – оперативный. Распространение по свободной цене. Усл. п.л. 21,5

Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/8-2022

Подписной индекс П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (4.1.1, 4.1.2 (06.01.05), 4.1.6 (06.03.01, 06.03.02, 06.03.03)
СТАТЬИ
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ПРОВИНЦИИ МАЙСАН (ИРАК) НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ Аль-Чаабави М.Р.А., Иванцова Е.А.
АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ КОЗЛЯТНИКА ВОСТОЧНОГО ($GAL\acute{E}GA$ $ORIENTALIS$ L.) НА РОСТ ЮВЕНИЛЬНЫХ ОРГАНОВ ХЛЕБНЫХ ЗЛАКОВ
Чегодаева Н.Д., Маскаева Т.А., Лабутина М.В., Кудашкин С.Е
Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.18 (25.00.30), 1.6.21)
СТАТЬИ
ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ САМЦОВ В ПОПУЛЯЦИИ КАВКАЗСКОГО БЛАГОРОДНОГО ОЛЕНЯ (CERVUS ELAPHUS MARAL OGILBY, 1840) НА ПОЛУОСТРОВЕ АБРАУ (СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ) Быхалова О.Н., Кудактин А.Н.
ДИНАМИКА СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА И АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД В НЕКОТОРЫХ РАЙОНАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ И КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ
Габова В.Н., Федоров Ю.А., Савицкий В.А., Доценко И.В
НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРОП В ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ Кебалова Л.А., Хацаева Ф.М. 39
ЕСТЕСТВЕННОЕ ЗАРАСТАНИЕ КАРЬЕРНО-ОТВАЛЬНЫХ ГЕОКОМПЛЕКСОВ МЕЛО-МЕРГЕЛЬНЫХ ПОРОД И ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭДАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ
Мануйлов А.А
СТРУКТУРА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ БАССЕЙНА РЕКИ ТУМАННАЯ Маслова М.Н
ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТАНКЕРНЫХ МОРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ
Пономаренко И.А
ТИПИЗАЦИЯ РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ОСОБЕННОСТЯМ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ УРОВНЕЙ Родоманская С.А
ТИПОЛОГИЯ СУБЪЕКТОВ И ГЕОСТРАТЕГИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ ПО ДИНАМИКЕ ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ЗА МЕЖПЕРЕПИСНЫЕ ПЕРИОДЫ
Фаронова Ю.В
Геолого-минералогические науки (1.6.1 (25.00.01, 25.00.03), 1.6.3, 1.6.4 (25.00.05), 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.11 (25.00.12), 1.6.12, 1.6.17, 1.6.20 (25.00.35), 1.6.21)
МОРФОСТРУКТУРА И ЭТАПНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЗМЕИНОГОРСКОГО БАРИТ-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (РУДНЫЙ АЛТАЙ)
Гринёв О.М., Семиряков А.С., Бестемьянова К.В., Гринёв Р.О.

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ МЕХАНИЧЕСКОЙ И РЕАГЕНТНОЙ ДЕЗАКТИВАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИЕМ ПОЧВ В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ Рачкова Н.Г., Шапошникова Л.М.	96
Технические науки (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.8 (25.00.22), 2.8.9)	
СТАТЬИ	
РЕГЕНЕРАЦИЯ КАТИОНИТА В ПРОЦЕССЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ РАСТВОРОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ Белова Т.П.	102
КРИТЕРИЙ ВЫБОРА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД И ОСНОВАНИЙ Галкин А.Ф., Железняк М.Н., Жирков А.Ф.	108
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ Герасимова Т.А., Иванчук А.О., Плютов Ю.А.	114
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК Кудряшов В.А.	120
РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ ПОМЕЩЕНИЙ ТЕПЛОТОЙ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ВОДЫ Кузьмин Г.П., Куваев В.А.	127
АНАЛИЗ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ПРИХВАТОВ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ НА ХАРАСАВЭЙСКОМ ГАЗОКОНДЕНСАТНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ Селиванов Н.С., Комаров С.А., Чудинова И.В.	133
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗООПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ ВОДОЕМОВ БОЛЬШОГО СОЛОВЕЦКОГО ОСТРОВА НА ПРИМЕРЕ ОЗЕР ВАРВАРИНСКОЕ И ПИТЬЕВОЕ	
Собко Е.И., Болотов М.И., Климов С.И., Быков В.М., Морева О.Ю.	139
Физико-математические науки (1.6.18 (25.00.29, 25.00.30), 1.6.20 (25.00.33), 1.6.22)	
СТАТЬИ	
ОСОБЕННОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМИРОВАНИЯ ИЗ WGS84 В КЛАРК 1880 В ГОРНЫХ И ПУСТЫННЫХ РАЙОНАХ В СИРИЙСКОЙ СТЕРЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ	1.45
Абаас Гафаар	143
Акель Мохаммад Амин, Акл Магер Нассер, Алтынов А.Е.	150
ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ Головко А.Н., Скворцов В.П.	160
КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ОСАДКОВ МАВРИТАНИИ Кан Налла	165

CONTENTS

Agricultural sciences (4.1.1, 4.1.2 (06.01.05), 4.1.6 (06.03.01, 06.03.02, 06.03.03)
ARTICLES
DETERMINATION OF THE STATE OF AGRICULTURAL LAND IN THE PROVINCE OF MAYSAN (IRAQ) BASED ON SPATIAL DATA Al-Chaabawi M.R.A., Ivantsova E.A.
ALLELOPATHIC INFLUENCE OF THE EASTERN GOAT (<i>GALÉGA ORIENTALIS</i> L.) ON THE GROWTH OF JUVENILE ORGANS OF CEREALS Chegodaeva N.D., Maskaeva T.A., Labutina M.V., Kudashkin S.E.
Chegoudeva Iv.D., Masadeva I.I., Edouina M.v., Radashan G.L.
Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.18 (25.00.30), 1.6.21)
ARTICLES
CHARACTERISTICS OF THE AGE STRUCTURE OF MALE IN THE POPULATION OF THE CAUCASIAN ROYAL DEER (CERVUS ELAPHUS MARAL OGILBY, 1840) ON THE ABRAU PENINSULA (NORTHWESTERN CAUCASUS) Bykhalova O.N., Kudaktin A.N.
DYNAMICS OF AVERAGE MONTHLY AIR TEMPERATURES AND PRECIPITATION IN SUMMER IN SOME AREAS OF THE ROSTOV AND KRASNODAR REGIONS Gabova V.N., Fedorov Yu.A., Savitskiy V.A., Dotsenko I.V
SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE ORGANIZATION OF ECOLOGICAL TRAILS IN SPECIALLY PROTECTED AREAS Kebalova L.A., Khatsaeva F.M. 39
NATURAL OVERGROWTH OF QUARRY-DUMP COMPLEXES AND TRANSFORMATION OF EDAPHIC CONDITIONS IN THE CONDITIONS OF THE FOREST-STEPPE ZONE Manuylov A.A
STRUCTURE OF LAND USE OF THE TUMANNAYA RIVER BASIN Maslova M.N. 52
SPATIAL FEATURES OF TANKER SHIPPING IN THE ARCTIC ZONE OF RUSSIA Ponomarenko I.A. 59
TYPING OF THE REGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION BY THE PECULIARITIES OF FOOD LEVELS **Rodomanskaya S.A.*** 65
TYPOLOGY OF SUBJECTS AND GEOSTRATEGIC TERRITORIES OF RUSSIA BY POPULATION DYNAMICS FOR INTERCENSUS PERIODS Faronova Yu.V. 71
Geological and mineralogical sciences (1.6.1 (25.00.01, 25.00.03), 1.6.3, 1.6.4 (25.00.05), 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.11 (25.00.12), 1.6.12, 1.6.17, 1.6.20 (25.00.35), 1.6.21)
ARTICLES MODRILOGERAGE AND STACES OF THE FORMATION
MORPHOSTRUCTURE AND STAGES OF THE FORMATION OF THE ZMEINOGORSK BARITE-POLYMETALLIC DEPOSIT (RUDNY ALTAI) Grinev O.M., Semiryakov A.S., Bestemyanova K.V., Grinev R.O.

EVALUATION OF PERSPECTIVES FOR MECHANICAL AND REAGENT DEACTIVATION OF SOIL CONTAMINATED	
WITH RADIUM IN THE KOMI REPUBLIC Rachkova N.G., Shaposhnikova L.M.	06
Kachkova N.G., Shaposhnikova L.M.	90
Technical sciences (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.8 (25.00.22), 2.8.9)	
ARTICLES	
CATION EXCHANGER REGENERATION IN CONCENTRATION OF NON-FERROUS METALS SOLUTIONS Belova T.P.	102
SELECTION OF THERMAL INSULATION MATERIAL FOR THE STRUCTURAL LAYER OF ROAD CLOTHING Galkin A.F., Zheleznyak M.N., Zhirkov A.F.	108
FORMING THE STRUCTURE OF THE LOADING AND TRANSPORT COMPLEX FOR MINING ENTERPRISES Gerasimova T.A., Ivanchuk A.O., Plyutov Yu.A.	
IMPROVING THE EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS OF THE OPERATION OF GEOTHERMAL DEPOSITS USING HEAT PUMP INSTALLATIONS	
Kudryashov V.A. TEST RESULTS OF A DEVICE FOR CONTROLLING THE TEMPERATURE REGIME OF PREMISES BY THE HEAT OF THE PHASE TRANSITION OF WATER Kuzmin G.P., Kuvaev V.A.	
ANALYSIS OF METHODS TO PREVENT STICKING OF THE DRILL STRING AT THE KHARASAVEY GAS-CONDENSATE FIELD Selivanov N.S., Komarov S.A., Chudinova I.V.	
THE MODERN STATE OF ZOOPLANKTON COMMUNITIES OF RESERVOIRS OF THE BOLSHOY SOLOVETSKY ISLAND ON THE EXAMPLE OF VARVARINSKOYE AND PITEVOE LAKES Sobko E.I., Bolotov M.I., Klimov S.I. Bykov V.M., Moreva O.Yu.	139
Physical and mathematical sciences (1.6.18 (25.00.29, 25.00.30), 1.6.20 (25.00.33), 1.6	
	· <i>EE</i>)
FEATURES OF CALCULATION OF TRANSFORMATION PARAMETERS FROM WGS84 TO CLARK 1880 IN MOUNTAINOUS AND DESERT AREAS IN THE SYRIAN STEREOGRAPHIC PROJECTION Abaas Gafaar	145
METHODOLOGY AND RECOMMENDATIONS FOR IMPROVING THE ACCURACY OF DIGITAL TERRAIN MODELS USING LOW-COST UAV PHOTOGRAMMETRY Akel Mohammad Amin, Akl Maher Nasser, Altynov A.E.	150
APPLICATION OF SPECIALIZED SOFTWARE FOR GEODETIC CALCULATIONS	130
Golovko A.N., Skvortsov V.P.	160
MAPPING ASSESSMENT OF THE DYNAMICS OF PRECIPITATION IN MAURITANIA Kane Nalla	165

СТАТЬИ

УДК 631.111.3: 624.131.47: 528.77

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ПРОВИНЦИИ МАЙСАН (ИРАК) НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Аль-Чаабави М.Р.А., Иванцова Е.А.

ФГАОУ ВО Волгоградский государственный университет, Волгоград, e-mail: ivantsova.volgu@mail.ru

Геоинформационный анализ деградации сельскохозяйственных земель связан, в первую очередь, с возможностью анализа пространственных данных территорий, используемых для получения сельскохозяйственной продукции. Для территории Иракской части междуречья Тигра и Евфрата, особенно его южной части, характерно распространение такого вида деградации почв, как засоление вследствие использования в течение многих столетий плодородных аллювиальных почв для выращивания различных сельскохозяйственных культур с применением систем орошения. Проведенный геоинформационный анализ деградации сельскохозяйственных ландшафтов позволяет обеспечить оперативный мониторинг их состояния, определение пространственного положения деградированных участков, выявление условий функционирования каждого поля и представляет собой эффективный инструмент для принятия мер по экономически обоснованному проведению работ по выращиванию сельскохозяйственных культур. Результаты картографирования агроландшафтов в провинции Майсан и оценки их деградации позволили установить для тестового участка особенности его рельефа, а также пространственное распределение участков сельскохозяйственных земель по степени деградации. Выявлено, что на площади тестового участка (196 га) расположены 59 полей площадью 122 га, из которых 5 полей не используются вследствие сильного засоления почв (общее содержание солей более 3%). Установлено преобладание сельскохозяйственных угодий, пашни и садов, занимающих 69% исследуемой территории. При оценке деградации земель установлено, что наибольшую площадь (64,4 га) занимают угодья с очень сильным и сильным засолением, выведенные из использования и зарастающие рудеральной растительностью. Угодья с уровнем деградации «риск» занимают 45,8 га, с уровнем «кризис» -20,6 га, с уровнем «бедствие» – 64,4 га.

Ключевые слова: деградация земель, геоинформационные технологии, провинция Майсан, Республика Ирак

DETERMINATION OF THE STATE OF AGRICULTURAL LAND IN THE PROVINCE OF MAYSAN (IRAQ) BASED ON SPATIAL DATA

Al-Chaabawi M.R.A., Ivantsova E.A.

Volgograd State University, Volgograd, e-mail: ivantsova.volgu@mail.ru

Geoinformation analysis of agricultural land degradation is associated primarily with the possibility of analyzing the spatial data of territories used to obtain agricultural products. The territory of the Iraqi part of the Tigris-Euphrates interfluve, especially in its southern part, is characterized by the spread of such a type of soil degradation as salinization due to the use for many centuries of fertile alluvial soils for growing various crops using irrigation systems. The conducted geoinformation analysis of the degradation of agricultural landscapes allows for operational monitoring of their condition, determination of the spatial position of degraded areas, identification of the conditions for the functioning of each field and provides an effective basis for taking measures for economically justified work on growing crops. The results of mapping agrolandscapes in Maysan province and assessing their degradation made it possible to establish the features of its relief for the test site, as well as the spatial distribution of agricultural land plots according to the degree of degradation. It was revealed that on the area of the test plot (196 ha) there are 59 fields with an area of 122 ha, of which 5 are not used due to severe soil salinity (total salt content is more than 3%). The predominance of agricultural land, arable land and gardens, occupying 69% of the study area, was established. When assessing land degradation, it was found that the largest area (64.4 ha) is occupied by lands with very strong and strong salinity, taken out of use and overgrown with ruderal vegetation. Lands with a degradation level of «risk» occupy 45.8 hectares, with a level of «crisis» – 20.6 hectares, with a level of «disaster» – 64.4 hectares.

Keywords: land degradation, geoinformation technologies, Maysan province, Republic of Iraq

Сельскохозяйственные ландшафты в провинции Майсан представляют собой аллювиальную равнину, расположенную в междуречье рек Тигр и Евфрат. Эта территория в настоящее время интенсивно используется для производства сельскохозяйственной продукции. Выявление современного состояния сельскохозяйственных ландшафтов является актуальной задачей, решение которой обеспечит планирование

предотвращения деградации земель и создание условий для устойчивого и гарантированного получения высокого урожая сельскохозяйственных культур. Деградация земель на территории исследований вызвана антропогенным изменением условий их функционирования; чем интенсивнее антропогенное воздействие на почвы, тем уязвимее они становятся при воздействии неблагоприятных факторов. При этом эффект антропогенного

и природного воздействия может привести к катастрофическим последствиям, вплоть до полной потери плодородия. Основными антропогенными факторами, вызывающими деградацию, являются неконтролируемая эксплуатация земель, отсутствие своевременного внесения удобрений и недостаточно активное внедрение современных способов защиты полей от факторов, приводящих к деградации. В связи с этим геоинформационный анализ деградации сельскохозяйственных ландшафтов дает возможность выявить земли, подверженные деградации, и в зависимости от ее уровня найти решения по их реабилитации.

Цель исследований — геоинформационный анализ деградации земель сельскохозяйственного назначения в провинции Майсан (Ирак).

Материалы и методы исследования

Состояние сельскохозяйственных земель в провинции Майсан определялось на полигоне «Амара» с использованием геоинформационных технологий и космических снимков спутников Sentinel 2 (разрешение 10 м) и спутников World View 3 (разрешение менее 1 м). При этом оценка осуществлялась по соотношению тона пикселей на изображении и на фотоэталонах территории. Дешифрирование контуров проведено с использованием программного комплекса ENVI 5.3. Координаты центра полигона «31° 54' 26 с.ш., 47° 05' 18 в.д». Геоинформационное картографирование полигонов проведено с использованием космоснимков, отражающих актуальное состояние полей, цифровой модели местности (SRTM 3), картографических баз и данных результатов анализа состояния территории. Такой подход дал возможность разработать тематические космокарты тестового полигона «Амара».

Использование результатов дистанционного зондирования для исследования сельскохозяйственных ландшафтов обеспечивает получение информации о состоянии их поверхности на большой площади, позволяя при этом существенно уменьшить объем наземных исследований [1, 2]. Данные дистанционного зондирования Земли получают в результате фиксации отраженной природными объектами энергии на космоснимках, связанной с оптическими свойствами природных объектов.

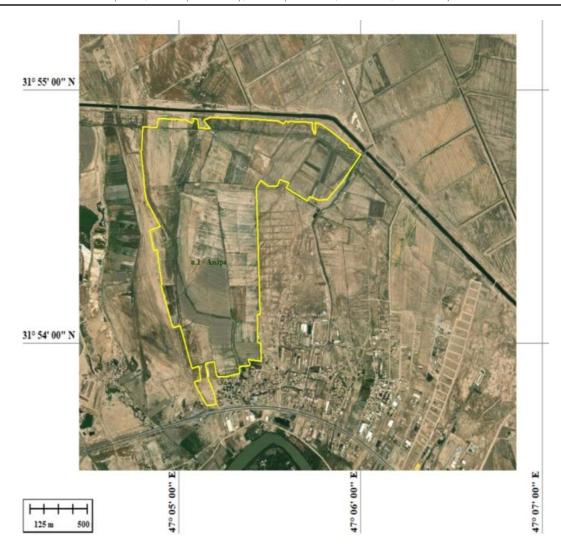
При определении состояния сельскохозяйственных ландшафтов необходимо установить уровень деградации и пространственное положение деградированных участков в ландшафте [3, 4]. Поэтому картографирование земель с распределением по уровням деградации является актуальной задачей, которая решается при совместном анализе космоснимков исследуемой территории, крупномасштабной топографической картографической основы и цифровой модели рельефа с учетом дополнительных данных, получаемых при полевых исследованиях. Составление карт сельскохозяйственных угодий включает: дешифрирование снимков угодий; эталонирование объектов картографирования; экстраполяцию признаков дешифрирования на объекты-аналоги; полевую проверку результатов дешифрирования; оформление карт. Дешифрирование данных, полученных по результатам космосъемки, отличается выделением каркаса и текстуры изображения для определения границ объектов на разрабатываемых картах.

В работах [5, 6] представлены современные способы составления тематических карт сельскохозяйственных ландшафтов. При этом выбор, хранение, анализ и обработка пространственных данных проводятся в среде ГИС. Моделирование земель сельскохозяйственного назначения осуществляется при создании растровых и векторных геоинформационных слоев, отражающих геоморфологическую структуру, расположение на территории контуров почв, тип использования, а также фитоценозы на необрабатываемых участках. Компьютерное геоинформационное картографирование дает возможность определять координаты тестовых точек на местности; определять геоморфологические особенности и морфометрические характеристики изучаемой территории; уточнять площадь и границы угодий; создавать трехмерные модели рельефа, местности и т.д. Такая методическая основа наиболее полно соответствует направлению исследований геоинформационному анализу сельскохозяйственных ландшафтов южной части междуречья Тигра и Евфрата.

Результаты исследования и их обсуждение

Космокарта тестового полигона «Амара», расположенного на территории района Эль Амара, представлена на рисунке 1.

Почвы тестового участка аллювиальные слабогумусированные с большим содержанием песка (до 58%), илистых и глинистых фракций (от 42%), что соответствует легкосуглинистому и суглинистому гранулометрическому составу.



Puc. 1. Космокарта полигона «Амара» (спутник World View 3)

Геоморфологические характеристики тестового полигона «Амара»

Наименование полигона	Амара
Площадь, га	196,1
Периметр, м	9991
Экспозиция	E (80°)
Средняя высота рельефа, м	7,0
Высота максимальная, м	10,0
Высота минимальная, м	2,0
Крутизна средняя, °	1,4
Средний уклон,%	2,4
Восточная долгота	47,1
Северная широта	31,9
Крутизна максимальная, °	4,7
Уклон максимальный, %	8,3
Стандартное отклонение высоты, м	1,1
Стандартное отклонение крутизны, °	0,7

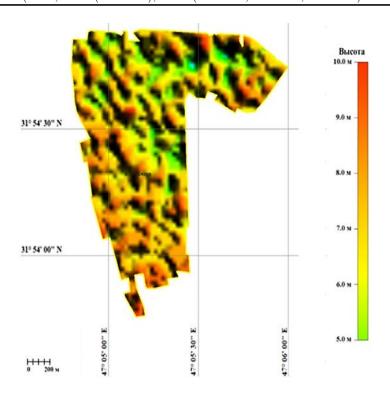


Рис. 2. Карта рельефа тестового полигона

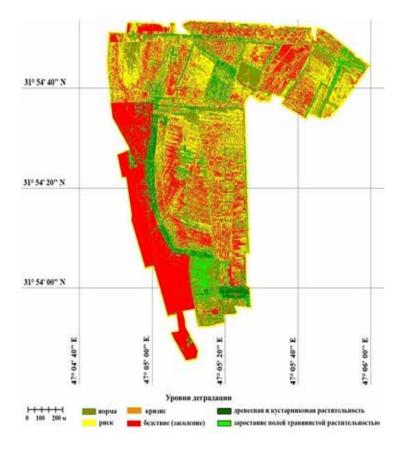


Рис. 3. Экологическое состояние сельскохозяйственных земель полигона «Амара»

Древесная растительность представлена следующими видами: мирт обыкновенный (Myrtus communis), хурма восточная (Diospyros kaki), робиния-лжеакация (Robinia pseudoacacia) ясень китайский (Ailanthus glandulosa), тополь черный, тополь евфратский и тополь белый (Populus Nigra, Populus euphratica, Populus alba, фисташка (Pistacia terebinthus) Вдоль каналов и русел в древостое представлены тамариски (*Tamarix spp.*), акации, мескит выполненный (Prosopis farcta) ивы (Salix sp.), мескит (Prosopis juliflora). В южной части полигона распространены Азадирахта индийская (Melia indica (A. Juss.) Brandis), Финиковая пальма Phoenix, Манго индийское (Mangifera indica,) dactilifera, акация аравийская (Acacia arabica), зизифусы (Zizyphus spp.), тамариски, и альбиция (Albizzia lebbek).

Геоморфологические характеристики тестового полигона «Амара» (таблица) установлены по результатам анализа цифровой модели местности SRTM 3, визуализация которой представлена на рисунке 2.

На карте деградации, представленной на рисунке 3, показано состояние сельско-хозяйственных земель полигона «Амара» по уровням деградации.

Установлен равнинный характер территории полигона «Амара» площадью 196,1 га, Средняя высота рельефа составляет 7 м при стандартном отклонении 1,1 м. Наличие на исследуемой территории валов высотой около 2 м, ограждающих оросительные каналы и пониженные участки, преобразует рельеф в антропогенно-трансформированный. На рисунке 4 представлено распределение площади полигона по уровням деградации.

В результате исследования сельскохозяйственных угодий на территории тестового полигона «Амара» установлено, что на полигоне присутствуют сельскохозяйственные угодья (59 полей) площадью 122 га, используемые в настоящее время в основном для выращивания пшеницы. Средняя площадь орошаемого участка составляет 2,1 га.

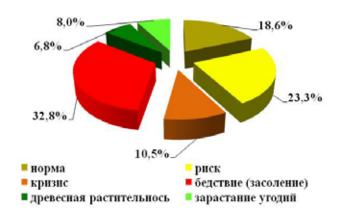


Рис. 4. Пространственное распределение площади полигона по уровням деградации

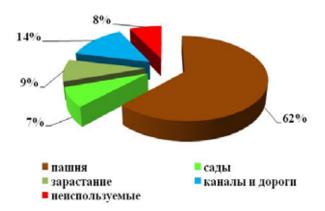


Рис. 5. Распределение площади объектов на территории тестового полигона «Амара»

Заключение

Не используются и зарастают галофитами 5 полей площадью около 17 га по причине их сильного засоления (общее содержание солей в почве на этих участках более 3%). Установлено, что под пашню используется 62% территории, сады занимают 7%, лесные насаждения — 9%, каналы и дороги — 14%, неиспользуемые территории — 8%. Структура использования площади приведена на рисунке 5.

В результате исследований на территории тестового полигона «Амара» установлено преобладание сельскохозяйственных угодий, пашни и садов, занимающих 69% территории. Не используются для выращивания сельскохозяйственных культур бесплодные земли и засоленные сельскохозяйственные угодья, часть из которых (9%) зарастает галофитной растительностью. При оценке деградации земель установлено, что наибольшую площадь -64,4 га - занимают угодья с очень сильным и сильным засолением. Угодья с уровнем деградации «риск» занимают 45,8 га. На этой площади возделывается преимущественно пшеница мягкая озимая ($Triticum\ aestivum\ L$.), потери урожая могут составлять до 25%. Засоление участков полей, отнесенных к уровню деградации «кризис» (20,6 га), приводит к очень значительной потере урожая зерновых культур — до 50%. Сильное засоление почв (уровень «бедствие») в агроландшафтах делает их непригодными для сельскохозяйственного использования.

Список литературы

- 1. Иванцова Е.А., Комарова И.А. Использование геоинформационных технологий и космических снимков для анализа агроландшафтов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. №2(62). С. 357-366.
- 2. Бакланов А.И. Новые горизонты космических систем оптико-электронного наблюдения Земли высокого разрешения // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2018. Т. 5. № 3. С. 17–28.
- 3. Новочадов В.В., Рулев А.С., Юферев В.Г., Иванцова Е.А. Дистанционные исследования и картографирование состояния антропогенно-трансформированных территорий юга России // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. Т. 1. № 53. С. 151-158. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-01-19.
- 4. Юферев В.Г., Юферев М.В. Геоинформационные методы оценки параметров деградации земель // Степи Северной Евразии: материалы VI международного симпозиума и VIII международной школы-семинара «Геоэкологические проблемы степных регионов». Оренбург, 2012. С. 835-839.
- 5. Авад В.Р. Динамика изменения ландшафтов в условиях опустынивания сельскохозяйственных земель (на примере юга Ирака): автореф. ... канд. геогр. наук. М., 2019. 25 с.
- 6. Юферев В.Г., Кулик К.Н., Рулев А.С., Мушаева К.Б., Кошелев А.В., Дорохина З.П., Березовикова О.Ю. Геоинформационные технологии в агролесомелиорации. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2010. 102 с.

УДК 632.51:57

АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ КОЗЛЯТНИКА ВОСТОЧНОГО (GALÉGA ORIENTALIS L.) НА РОСТ ЮВЕНИЛЬНЫХ ОРГАНОВ ХЛЕБНЫХ ЗЛАКОВ

¹Чегодаева Н.Д., ¹Маскаева Т.А., ¹Лабутина М.В., ²Кудашкин С.Е.

¹ФГБОУ ВО «Мордовский государственный педагогический университет имени М.Е. Евсевьева», Саранск;

²МОУ «Средняя школа № 41», Capaнск, e-mail: chegodaevand@mail.ru

Козлятник восточный (*Galéga orientalis* L.) — многолетняя высокопродуктивная кормовая культура из семейства бобовых, обладающая более высокой питательной ценностью по сравнению с другими бобовыми травами. В районах возделывания очень быстро уходит из культуры и становится не только засорителем многих сельскохозяйственных культур, но также завоевывает прилегающие территории, вытесняя аборигенную растительность. В статье отражены результаты исследований по влиянию холодных водных вытяжек козлятника восточного на рост ювенильных органов хлебных злаков *Secale cerale* L., *Avena sativa* L., *Hordéum vulgáre* L. Показана зависимость аллелопатического действия отдельных органов *Galéga orientalis* L. от концентрации водных вытяжек. Все органы козлятника восточного обладают высокой аллелопатической активностью. Установлено, что даже небольшие концентрации водных вытяжке из разных органов подавляют развитие ювенильных органов хлебных злаков. При повышении концентрации вытяжках высоких концентраций (1:10) ингибирование роста 4-дневных корешков озимой ржи достигает 59,9%, овса посевного — 64,6%, ячменя обыкновенного — до 68,8%. Рост ювенильных проростков опытных образцов хлебных злаков ингибируется на 59,7—72,2%.

Ключевые слова: аллелопатия, хлебные злаки, рост корешков, рост проростков, сила начального роста

ALLELOPATHIC INFLUENCE OF THE EASTERN GOAT (GALÉGA ORIENTALIS L.) ON THE GROWTH OF JUVENILE ORGANS OF CEREALS

¹Chegodaeva N.D., ¹Maskaeva T.A., ¹Labutina M.V., ²Kudashkin S.E.

¹Mordovian State Pedagogical University named after M.E. Evsevev, Saransk; ²Secondary school No. 41, Saransk, e-mail: chegodaevand@mail.ru

Oriental goat (*Galéga orientalis* L.) is a perennial highly productive forage crop from the Legume family, which has a higher nutritional value compared to other leguminous grasses. In the areas of cultivation, it very quickly leaves the culture and becomes not only a weed of many crops, but also conquers adjacent territories, displacing native vegetation. The article reflects the results of studies on the effect of cold water extracts of Eastern goat on the growth of juvenile organs of cereals: *Secale cerale* L., Avena sativa L., *Hordéum vulgáre* L. The dependence of the allelopathic action of individual organs of *Galéga orientalis* L. on the concentration of aqueous extracts is shown. All organs of the eastern goat have high allelopathic activity. It has been found that even small concentrations of aqueous extracts from different organs inhibit the development of juvenile organs of cereals. With an increase in the concentration of extracts, the inhibitory effect of the organs of the eastern goat becomes more pronounced. In aqueous extracts of high concentrations (1:10), the inhibition of the growth of 4-day roots of winter rye reaches 59.9%, oats – 64.6%, ordinary barley up to 68.8%. The growth of juvenile seedlings of experimental samples of cereals is inhibited by 59.7–72.2%.

Keywords: allelopathy, cereals, root growth, seedling growth, initial growth strength

В природе складываются сложные отношения между растениями. Каждое растение в целях самозащиты выделяет химические соединения разной природы. Данные соединения, накапливаясь в почве, в дальнейшем оказывают разностороннее влияние на совместно произрастающие культуры. Соединения одних растений оказывают стимулирующее действие, других, наоборот, ингибирующее [1–3].

Козлятник восточный (Galéga orientalis L.) — многолетнее растение из семейства бобовых, в условиях Республики Мордовия возделывается как высокопродуктивная кормовая культура с повышенной питатель-

ной ценностью во многих хозяйствах. Используется в качестве зеленого корма, а также для заготовки силоса, сенажа и сена. Данная культура имеет ряд преимуществ перед другими бобовыми кормовыми травами. По сравнению с клевером и люцерной имеет более высокое содержание протечна в биомассе, обладает высокой облиственностью, листва не опадает при сушке растения.

Вид экологически пластичен, обладает большей зимостойкостью, морозостойкостью и долговечностью в культуре. Весной начинает рано вегетировать и дает более ранние укосы по сравнению с другими бо-

бовыми культурами. Осенью также продолжается отрастание до самых заморозков, что позволяет использовать его в качестве зеленого корма для разных сельскохозяйственных животных до поздней осени [4, 5].

Растение очень конкурентоспособно, быстро отрастает и завоевывает новые территории. В районах возделывания козлятник восточный очень быстро уходит из культуры, становится засорителем многих сельскохозяйственных культур, а также на больших территориях вытесняет аборигенную растительность. Отмечено, что вдоль полезащитных лесных полос, вдоль автомобильных магистралей, на заброшенных и необработанных участках, на посевах других многолетних культур, в садах, парках и даже на городских газонах образует сплошные заросли, площадь которых очень быстро увеличивается. Наряду с высокой конкурентоспособностью, вероятно, данный вид обладает и высокой аллелопатической активностью.

Целью данной работы явилось исследование аллелопатического влияния *Galéga* orientalis L. на рост ювенильных органов хлебных злаков – корешков и проростков.

Материалы и методы исследования

Для определения аллелопатической активности козлятника восточного использовался метод биотестов [6]. В качестве тестируемых культур использовались семена ржи озимой (Hordeum cecale L.), овса посевного (Avena sativa L.) и ячменя обыкновенного (Hordeum vulgare L.), которые предварительно проходили асептику в растворе перманганата калия для исключения роста патогенных грибов.

Аллелопатический эффект определялся по действию суточных холодных водных вытяжек козлятника восточного, приготовленных из воздушно-сухой массы всех органов козлятника восточного на развитие ювенильных органов хлебных злаков [7–9]. Вытяжки готовились в концентрации 1:100, 1:50, 1:10. Хлебные злаки проращивались согласно ГОСТ 12038-84 в трехкратной повторности [10]. Проращивание семян тестируемых образцов хлебных злаков производилось в вытяжках разных концентраций из отдельных органов козлятника восточного, для контроля – в дистиллированной воде.

Определение силы начального роста производилось методом биометрической оценки корешков и проростков 4-дневного возраста [10]. В ходе проведения эксперимента проросшие семена выдерживались

во влажном состоянии, для чего опытные образцы увлажнялись исследуемыми растворами, а контрольные — дистиллированной водой. У контрольных и опытных проросших семян измеряли длину корешков и проростков, которые в дальнейшем определяют дальнейшее развитие надземных и подземных органов исследуемых растений. Рост контрольных образцов принимали за 100%, у опытных — рассчитывали в процентах от длины контрольных. Полученные результаты подвергались статистической обработке.

Результаты исследования и их обсуждение

Появление быстрых и дружных всходов хлебных злаков возможно только при нормальном развитии ювенильных органов растений. На всхожесть и начальный рост культур влияет не только полновесность семян, но и действие почвенных условий, в том числе растительные остатки, оставшиеся на полях от предыдущих культур. Любое негативное влияние на рост ювенильных органов препятствует формированию полноценных и здоровых растений хлебных злаков или приводит к неравномерному развитию вегетирующих растений. Исследование влияния водных вытяжек козлятника восточного на формирование и рост корешков исследуемых хлебных культур показало следующие результаты (табл. 1).

Данные табл. 1 указывают на то, что водные вытяжки из всех органов козлятника восточного уже при минимальных концентрациях оказывают влияние на рост корешков всех указанных злаковых культур. На контроле длина корешков озимой ржи достигает 7,3 см.

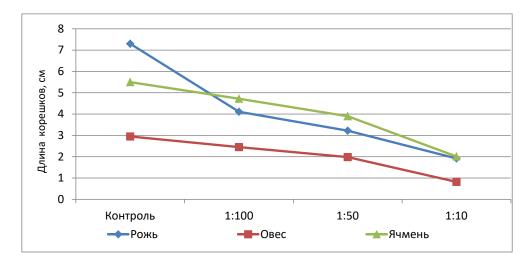
При концентрации вытяжек 1:100 рост корешков стимулируется только в вытяжках из соцветия на 3,3%. В вытяжках других органов козлятника восточного наблюдается подавление роста корешков озимой ржи на 7–10%. Средняя длина проростков озимой ржи составила 6,9 см, что соответствует 94,5% от контроля. Суммарное подавление роста корешков ржи растением достигает 5,5% (рис. 1).

У овса посевного сила начального роста корешков снижается еще в большей степени. На контроле длина корешков составляет 8,41 см. Водные вытяжки разных органов козлятника восточного ингибируют рост корешков на 24–39%. Средняя длина корешков овса посевного составила 5,77 см, что соответствует 68,6% от контроля.

 Таблица 1

 Рост корешков хлебных злаков в водных вытяжках Galéga orientalis L., см

Концен- трация вытяжки	Хлебные злаки	Контроль	Корень	Стебель	Лист	Соцветие	Растение
	Рожь	7,3±1,6	6,7±0,38	6,8±0,82	6,57±0,58	7,54±0,38	6,9±0,32
1:100	Овес	8,41±0,67	5,34±0,42	6,16±1,06	5,17±0,32	6,41±0,5	5,77±0,52
	Ячмень	7,69±0,76	6,94±0,54	6,25±0,71	5,42±0,58	4,67±0,45	5,82±0,78
	Рожь	7,3±1,6	5,6±0,55	5,77±0,39	5,48±0,89	6,15±0,59	5,75±0,21
1:50	Овес	8,41±0,67	4,27±0,67	3,51±1,18	4,08±0,32	5,26±0,88	5,11±1,38
	Ячмень	7,69±0,76	4,61±0,44	5,44±1,54	4,07±0,61	3,35±0,54	4,37±0,66
	Рожь	7,3±1,6	3,84±0,72	4,9±0,57	0,7±0,41	2,29±0,42	2,93±1,44
1:10	Овес	8,41±0,67	3,06±0,65	4,72±0,44	2,25±0,51	1,9±0,47	2,98±0,91
	Ячмень	7,69±0,76	3,87±0,46	3,37±0,65	1,35±0,44	1±0,32	2,40±1,22



Puc. 1. Влияние водных вытяжек Galéga orientalis L. разных концентраций на рост корешков хлебных злаков

Суммарное подавление роста корешков овса растением достигает 31,4%. У ячменя обыкновенного на контроле длина корешков – 7,69 см. Подавление силы начального роста корешков в вытяжках разных органов достигает 9,8–29,3%. Средняя длина проростков ячменя обыкновенного составила 6,9 см, что соответствует 75,7% от контроля. Суммарное подавление роста корешков ячменя растением достигает 24,3%.

В вытяжках с концентрацией 1:50 ингибирование развития корешков хлебных злаков выражено еще в большей степени. Так, у озимой ржи средняя длина корешков составила 5,75 см, что соответствует 78,8% от контроля. Рост корешков в вытяжках из разных органов козлятника восточного угнетается на 15,7–24,9%, а суммарно растением на 21,2%, что меньше на 16% преды-

дущего показателя. Средняя длина корешков овса посевного при данной концентрации вытяжек составила 5,11 см, что соответствует 60,8% от контроля. Рост корешков в вытяжках из разных органов подавляется на 37—58%, растением в целом на 39,2%, что еще на 8% меньше предыдущего варианта. Длина корешков ячменя обыкновенного в вытяжках разных органов ингибируется на 41—57%, растением в среднем — на 42,3%, что меньше на 18% предыдущей концентрации.

Увеличение концентрации водных вытяжек до 1:10 повышает их аллелопатический эффект. Рост корешков тестовых культур сводится к минимуму. Как можно заметить, рост корешков озимой ржи достигает всего 39,9% от контроля, подавление роста по сравнению с предыдущим вариантом повышается еще на 38%.

У овса также наблюдается дальнейшее ингибирование роста корешков по сравнению с контролем. В вытяжках разных органов угнетение их роста достигает 44—78%, а суммарно растением ингибируется на 64,6%. Аналогичным образом отражается действие водных вытяжек данной концентрации на рост корешков ячменя обыкновенного, у которого развитие корешков оказывается наихудшим. В вытяжках из разных органов подавление роста корешков достигает 50—87%. Длина корешков меньше контроля суммарно на 68,8%. Вышеизложенные данные указывают на высокую аллелопатическую активность козлятника восточного.

Аналогичным образом отражается аллелопатическое действие водных вытяжек козлятника восточного на развитие проростков исследуемых культур. Как видно из табл. 2, длина контрольных проростков озимой ржи достигает 4,76 см.

Водные вытяжки разных органов козлятника при концентрации вытяжек 1:100 подавляют рост ювенильных проростков на 3,9–31,3%. Средняя длина про-

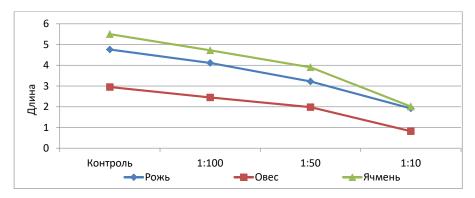
ростков при данной концентрации вытяжек составила 4,11 см, что соответствует 86,3% от контроля. Максимальное влияние оказывают вытяжки из наземных органов. В среднем растением развитие проростков озимой ржи подавляется на 13,7% по сравнению с контрольными образцами (рис. 2).

Длина проростков овса посевного на контроле составила 2,95 см. Вытяжки разных органов оказывают существенное влияние и на развитие проростков, длина которых на 6,4–30,5 % меньше контроля. Средняя длина проростков овса при данной концентрации составляет 2,45 см -83,1% от контроля. Суммарно растением сила начального роста проростков подавляется на 16,9%. Контрольная длина проростков ячменя обыкновенного 5,5 см. Сила начального роста проростков ингибируется на 0,7–40,9% в вытяжках разных органов. Средняя длина проростков ячменя обыкновенного достигала 4,42 см - 85,8% от контроля. Самое агрессивное влияние характерно для вытяжек из листьев козлятника восточного. Суммарное ингибирование растением достигает 14,2%.

 Таблица 2

 Рост проростков хлебных злаков в водных вытяжках Galéga orientalis L., см

Концен- трация вытяжки	Вид растения	Контроль	Корень	Стебель	Лист	Соцветие	Растение
	Рожь	4,76±1,26	4,57±1,4	4,5±1,68	3,27±1,22	4,11±1,16	4,11±0,42
1:100	Овес	2,95±0,54	2,76±0,97	2,05±1,05	2,34±0,99	2,65±0,8	2,45±0,26
	Ячмень	5,50±0,83	5,46±1,58	5,25±1,82	3,25±1,08	4,92±1,82	4,72±0,74
	Рожь	4,76±1,26	3,31±1,79	3,25±1,25	2,43±0,94	3,9±1,09	3,22±0,40
1:50	Овес	2,95±0,54	2,43±0,75	1,72±1,22	1,64±0,75	2,13±0,9	1,98±0,30
	Ячмень	5,50±0,83	4,9±1,38	3,56±1,75	2,89±0,97	4,24±1,86	3,90±0,67
	Рожь	4,76±1,26	2,92±2,05	2,52±0,83	0,84±0,12	1,38±0,82	1,92±0,81
1:10	Овес	2,95±0,54	1,35±0,72	1,07±0,67	$0,24\pm0,06$	0,63±0,63	0,82±0,39
	Ячмень	5,50±0,83	3,87±1,43	2,02±0,95	1,0±0,66	1,13±0,34	2,01±0,94



Puc. 2. Влияние водных вытяжек Galéga orientalis L. разных концентраций на рост проростков хлебных злаков, %

Наблюдается еще более существенное подавление силы начального роста ювенильных проростков при концентрации вытяжек 1:50. Рост проростков озимой ржи в вытяжках разных органов подавляется на 19,1-49,5%. Средняя длина проростков при данной концентрации остается на уровне 3,22 см, что соответствует 67,7% от контроля. Рост проростков ингибируется на 32,3%, что меньше предыдущего варианта на 17,6%. У овса посевного подавление роста проростков в вытяжках из разных органов достигало 17,6-44,4%. Длина проростков овса составила 1,98 см, т.е. 67,1% от контроля. Подавление роста проростков суммарно растением достигает 32,9%, это больше предыдущего варианта на 16%. Длина проростков ячменя обыкновенного составила 3,9 см, что соответствует 70,9% от контроля. Ингибирование силы начального роста 29,1 %, что больше предыдущего варианта еще на 15%.

Увеличение концентрации водных вытяжек до 1:10 приводит к очень сильному подавлению силы начального роста ювенильных проростков всех исследуемых культур. Наибольшим ингибирующим действием обладают вытяжки наземных органов козлятника восточного. Длина проростков озимой ржи при данной концентрации вытяжек составляет 1,92 см. В вытяжках разных органов ингибируется до 17,7-61,3% от контрольных образцов. Угнетение роста проростков суммарно растением достигает 59,7% от контроля. Рост проростков ячменя при данной концентрации ингибируется на 63,5%. Самыми уязвимыми оказываются проростки овса посевного. Их рост при максимальной концентрации вытяжек составляет всего 8,1-45,8% от контроля в вытяжках из разных органов. Подавление роста проростков суммарно растением достигает 72,2% по сравнению с контролем.

Полученные данные подтверждают высокую аллелопатическую активность Galéga orientalis L. В связи с этим можно и объяснить широкое распространение данного вида растения и завоёвывание им общирных территорий.

Заключение

Результаты проведенных исследований указывают на высокую алллелопатическую активность *Galéga orientalis* L., в водных

вытяжках из разных органов которого отмечается подавление роста ювенильных органов хлебных злаков. Наблюдается ингибирование роста как подземных, так и надземных органов растений. Наибольшую аллелопатическую активность проявляют надземные органы козлятника восточного.

Наблюдается четкая зависимость аллелопатического влияния *Galéga orientalis* L. от концентрации водных вытяжек растения. Ингибирующее действие водных вытяжек увеличивается с повышением их концентрации. Рост корешков исследуемых хлебных злаков при максимальных концентрациях вытяжек подавляется на 60–69%, рост проростков — на 59,7–72,2%, что в дальнейшем отражается на развитии исследуемых культур.

Высокая аллелопатическая активность Galéga orientalis L. способствует широкому распространению вида и покорению им обширных территорий.

Список литературы

- 1. Кондратьев М.Н., Карпова Г.А., Ларикова Ю.С. Вза-имосвязи и взаимоотношения в растительных сообществах. М.: Изд-во РГАУ МСХА, 2014. $300\ c.$
- 2. Матвеев Н.М. Аллелопатия как фактор экологической среды. Самара: Самарское кн. изд-во, 2014. 203 с.
 - 3. Райс Э. Аллелопатия. М.: Мир, 1978. 392 с.
- 4. Степанов А.Ф., Христич В.В., Александрова С.Н. Козлятник восточный: биология, возделывание, использование: монография. Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2017. 420 с.
- 5. Пигорев И.Я., Долгополова Н.В., Шомина Е.Ю. Возделывание козлятника восточного в условиях лесостепи Центрального Черноземья // Вестник аграрной науки. 2017. № 6. С. 31–38.
- 6. Рзаева В.В. Влияние вытяжки сорных растений на всхожесть семян яровой пшеницы // Аграрный вестник Урала. 2012. № 1 (93). С. 20.
- 7. Гродзинский А.М. Аллелопатия в естественных и искусственных фитоценозах. М.: Наука, 1982. 197 с.
- 8. Власова О.И., Вольтерс И.А., Трубачева Л.В. Выявление аллелопатических свойств сорных растений в условиях длительного стационарного опыта зоны достаточного увлажнения Ставропольского края // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=6990 (дата обращения: 20.05.2022).
- 9. Турсумбекова Г.Ш. Аллелопатическое влияние вытяжек сорных растений на проростки сортов яровой пшеницы // Наука на службе сельского хозяйства: сб. научных трудов к международной конференции «Аграрные проблемы Северного Зауралья» (Тюмень, 10–13 июля 2007 г.). Тюмень: Вектор Бук, 2007. С. 69–72.
- 10. Чегодаева Н.Д., Маскаева Т.А., Лабутина М.В. Аллелопатическое влияние *Matricaria chamomilla* L. на посевные и ранние ростовые показатели пшеницы мягкой и ржи посевной // Сельскохозяйственные науки. 2019. № 11. С. 31–36.

СТАТЬИ

УДК 911.2:599.735.31

ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ САМЦОВ В ПОПУЛЯЦИИ КАВКАЗСКОГО БЛАГОРОДНОГО ОЛЕНЯ (CERVUS ELAPHUS MARAL OGILBY, 1840) НА ПОЛУОСТРОВЕ АБРАУ (СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ)

^{1,2}Быхалова О.Н., ³Кудактин А.Н.

¹ΦΓБУ «Государственный заповедник «Утриш», Анапа, e-mail: bykhalovao@mail.ru; ²ΦГБОУ ВО «Российский государственный аграрный заочный университет», Балашиха; ³ΦГБУ «Кавказский биосферный заповедник им. Х.Г. Шапошникова», Сочи, e-mail: kudaktinkavkaz@mail.ru

Проанализирована динамика возрастной структуры самцов кавказского благородного оленя немногочисленной, изолированной популяции заповедника «Утриш» в условиях восстановления численности. При
создании заповедника (2010) популяция находилась в угнетенном состоянии. Для анализа возрастной структуры использовали данные учета на реву, фиксации с фотоловушек 2011–2021 гг. Определена доля ревущих
самцов, участвующих в половой конкуренции. Выявлена волнообразная активность быков, участвующих
в конкурентных взаимоотношениях во время гона. В случае перенаселения в популяции включается внутренний механизм авторегуляции численности, снижающий половую активность самцов. В популяции заповедника представлены все возрастные группы самцов, образующие сложную возрастную структуру. Для
анализа возрастной структуры самцов выделены группы: предрепродуктивная, репродуктивная, пострепродуктивная. На протяжении десяти лет в заповеднике предрепродуктивная группа доминирует над репродуктивной. Старые самцы образуют незначительную часть. Исследуемая популяция имеет большую долю
предрепродуктивных самцов и по своей возрастной структуре представляет пирамиду населения с прогрессивным типом воспроизводства. В условиях восстановления численности отмечена мобилизация экологического резерва для восстановления численности, основной репродуктивный потенциал смещен в сторону
предрепродуктивных молодых самцов.

Ключевые слова: заповедник «Утриш», популяция, кавказский благородный олень, самец, рог, возрастная структура, группа, пирамида населения

CHARACTERISTICS OF THE AGE STRUCTURE OF MALE IN THE POPULATION OF THE CAUCASIAN ROYAL DEER (CERVUS ELAPHUS MARAL OGILBY, 1840) ON THE ABRAU PENINSULA (NORTHWESTERN CAUCASUS)

^{1,2}Bykhalova O.N., ³Kudaktin A.N.

¹State Nature Reserve "Utrish", Anapa, e-mail: bykhalovao@mail.ru; ²Russian State Agrarian Correspondence University, Balachikha; ²Caucasian Biosphere Reserve named after Kh.G. Shaposhnikov, Sochi, e-mail: kudaktinkavkaz@mail.ru

The dynamics of the age structure of males of the Caucasian red deer of a small, isolated population of the Utrish reserve in the conditions of population recovery was analyzed. When the reserve was created (2010), the population was in a depressed state. For the analysis of the age structure, we used the data of the count on the roar, fixations from photo traps in 2011-2021. The proportion of roaring males participating in sexual competition was determined. Wave-like activity of bulls participating in competitive relationships during the rut was revealed. In the case of overpopulation in the population, the internal mechanism of autoregulation of numbers is activated, which reduces the sexual activity of males. All age groups of males are represented in the population of the reserve, forming a complex age structure. To analyze the age structure of males, the following groups were distinguished: pre-reproductive, reproductive, post-reproductive. For ten years, the pre-reproductive group has dominated the reproductive group in the reserve. Old males form a small part. The studied population has a large proportion of pre-reproductive males and, in terms of its age structure, represents a population pyramid with a progressive type of reproduction. Under conditions of population recovery, the mobilization of the ecological reserve for population recovery was noted, the main reproductive potential is shifted towards pre-reproductive young males.

Keywords: reserve Utrish, population, Caucasian red deer, male, antler, age structure, group, population pyramid

Главной целью Национальной стратегии сохранения биоразнообразия России является сохранение разнообразия природных биосистем на уровне, обеспечивающем их устойчивое существование и неистощимое использование при сохранении или восстановлении численности и ареалов природных популяций, достаточных для их устойчивого существования и использования.

На сегодняшний день разрабатывается комплекс мер по восстановлению одной из крупнейших в мире таймырской популя-

ции дикого северного оленя, которая находится под угрозой сокращения численности и фрагментации ареала [1].

На Западном Кавказе за последние 50 лет отмечена фрагментация и сокращение ареала и численности эндемичного подвида — кавказского благородного оленя [2–4].

В западную границу ареала входит группировка оленей полуострова Абрау в границах Анапского и Новороссийского районов Краснодарского края. Она оказалась изолированной от основного ядра, которым является Кавказский биосферный заповедник [4]. Географический барьер представляют воды Черного моря, омывающие полуостров Абрау с северо-запада до юго-востока. А на севере, северо-востоке и востоке в течение 50 лет непреодолимыми антропогенными барьерами на исторически сложившихся путях миграций оленей, проходивших вдоль Кавказского хребта с востока на запад, стали объекты промышленности и сельского хозяйства. Они привели к продолжительной изоляции популяции полуострова Абрау [5].

К началу XXI в. численность оленей на Кавказе и в Краснодарском крае прогрессивно сокращается [6–8], с 2005 по 2011 г. этот процесс коснулся и полуострова Абрау в Анапском, Новороссийском районах, где поголовье оленей уменьшилось в 6 раз, а в 2012–2013 гг. в Анапском районе оно исчезает вовсе.

Для сохранения немногочисленной группировки в 2010 г. был учрежден государственный природный заповедник «Утриш» [9].

Создание заповедника способствовало увеличению численности группировки в 5 раз, к 2019 г. она достигла эффективного минимального размера жизнеспособной популяции [5].

Наряду с такими лимитирующими факторами окружающей среды, как деятельность человека, кормовая база (пастбища), водопои, защитные свойства среды (убежища), климат, хищники, конкурирующие виды, заболевания, паразиты, К.А. Роговин и М.П. Мошкин (2007) в качестве регулятора численности популяции выделяют стресс, обусловленный переуплотнённостью.

По мнению Ю. Одума (1975), общая скорость роста популяции в отсутствии лимитирующего влияния среды зависит от возрастного состава и вклада в репродукцию разных возрастных групп.

Возрастная структура – это соотношение в популяции групп особей, различающихся по способности к воспроизводству

(Гальперин, 2008). Условно выделяют три возрастные экологические группы: предрепродуктивную, репродуктивную, стрепродуктивную. Возрастную структуру популяции выражают при помощи возрастных пирамид - количественного соотношения численности в процентах разных возрастных групп [10]. Сведения о возрастной структуре позволяют оценить устойчивость популяции к внешним воздействиям, ее способность к воспроизводству, прогнозировать дальнейшие изменения численности и принимать соответствующие меры по ее сохранению и восстановлению. Чем сложнее возрастная структура популяции, тем выше ее приспособительные возможности к условиям окружающей среды.

Результаты исследования Л.А. Колпащиковым (2000) Таймырской популяции дикого северного оленя показали, что интенсивный промысел в течение десяти лет приводит к ее омоложению, средний возраст самцов снижается практически в два раза. При резком снижении промысловой нагрузки восстановление структуры популяции происходит в течение пяти лет. Автор отмечает, что обновление популяции по линии самцов происходит заметно быстрее, чем по линии самок.

Многолетние исследования кавказского благородного оленя в Кавказском биосферном заповеднике В.Н. Александрова (1968) показали, что самцы способны к размножению на втором году жизни, однако полного развития быки достигают лишь к 4-5-летнему возрасту, при общей продолжительности жизни около 20 лет. С увеличением плотности населения в популяции наблюдается уменьшение относительного количества самцов. Автор предполагает, что это может быть связано с повышенной смертностью их в результате усиления внутривидовой конкуренции из-за самок. Как отмечает Л.А. Зенкевич (1971), начинают принимать участие в размножении и собирают гаремы самцы в 5-6-летнем возрасте, редко на год раньше.

Большое количество старых самцов, по убеждению О.Б. Переладовой (1988), обеспечивает нормальное течение гона, полное и быстрое покрытие самок в период размножения.

Цель работы — выявление состояния и динамики возрастной структуры самцов изолированной немногочисленной популяции кавказского благородного оленя заповедника «Утриш» в условиях восстановления численности.

Материалы и методы исследования

Для исследования возрастной структуры самцов кавказского благородного оленя на территории заповедника «Утриш» (полуостров Абрау) с 2011 по 2021 г. использовали данные учетов на реву, метод, предложенный М.А. Котовщиковым (1936), А.А. Насимовичем (1941), и фотофиксацию фотоловушками в 2013–2021 гг. (n = 176, около 31000 локаций).

Самцы идентифицировались по морфологическим признакам: строению рогов, размерам тела, окраске шерстного покрова, пятнистости и др. В работе применялись апробированные методики исследования общего строения и терминальных частей рогов А.А. Фандеева и В.П. Никольской (1978). Для типологии формы проксимальной части рогов использовали методику А.Н. Кудактина, О.Н. Быхаловой (2019).

Для анализа возрастной структуры самцов учитывали рога, сброшенные оленями (n = 13) в период с 2013 по 2021 г. на территории заповедника и прилегающих участках полуострова Абрау. Эти данные дополнены локациями с фотоловушек.

Возраст самцов определяли, применяя классификацию рогов европейского благородного оленя и принципы трофейной селекции [11].

В возрастной дифференциации выделяли классы молодых, средневозрастных, старых самцов [12].

При оценке репродуктивного возраста самцов выделяли три возрастные группы, предложенные А.В. Яблоковым (1987): пред-

репродуктивную, репродуктивную, пострепродуктивную. Предрепродуктивные особи — молодые особи, не достигшие полового созревания и еще не способные давать потомство. Репродуктивные особи — половозрелые, размножающиеся особи. Пострепродуктивные особи — старые особи, утратившие функцию размножения и уже не дающие потомства.

Применяя вышеизложенные подходы по определению календарного возраста, совмещая дифференциацию по репродуктивному возрасту, в возрастной структуре самцов кавказского благородного оленя заповедника выделены следующие ранги. Класс молодых самцов в возрасте до 5 лет, с 1-6-отростковыми рогами, формирует предрепродуктивную группу. Класс молодых самцов включает подклассы: спичаков 1-2-годовалых и молодых оленей 3-5 лет. Средневозрастные 6-9-летние самцы с семью-восемью отростками образуют репродуктивную группу. Пострепродуктивную группу формирует класс старых самцов старшей возрастной группы 10 лет и более, имеющих рога с девятью и более отростками. Класс старых быков объединяет подклассы зрелых 10–12 лет и старых старше 14 лет. Самцы старшей возрастной группы являются ядром воспроизводства [12].

Результаты исследования и их обсуждение

Активность самцов, участвующих в половом отборе

С момента организации заповедника численность самцов увеличилась в 5 раз (табл. 1).

Таблица 1 Численность самцов, участвующих в гоне в 2011–2021 гг.

Учетный период,						неревущих амцов	Соотношение самцов ревущих и неревущих				
ГГ.	ос./1000 га	oc.	oc.	%	oc. %		oc./oc.				
20111	1,5	6	4	67	2	33	2,0				
20121	1,7	7	4	57	3	43	1,3				
20132	2,8	9	5	55	4	45	1,3				
20142	4,2	14	7	50	7	50	1,0				
2015 ²	5,1	20	9 45		11	55	0,8				
2016 ²	5,2	20	5	25	15	75	0,3				
20172	6,2	25	11	44	14	56	0,8				
20182	4,2	19	12	63	7	37	1,7				
2019 ²	11,3	35	13	37	22	63	0,6				
2020 ²	8,4	23	13	57	10	43	1,3				
20213	_	18	14	14 –		_	_				
Среднее	5,4	20		47	53		1,11				

 Π р и м е ч а н и е . 1 – визуальные встречи, 2 – данные фотоловушек, 3 – данные фотоловушки использовались неэффективно.

Доля ревущих самцов, участвующих в половой конкуренции 2013-2020 гг., в среднем составляет 47%. Сравнительный анализ данных локаций с фотоловушек и учета на реву показал различную активность самцов в половом отборе. В 2013, 2014, 2015, 2016 гг. участие ревущих самцов в гоне снижается с 55 до 25%, а продолжительность брачного периода 30, 31, 38, 29 дней, количество дней, когда самцы подавали голос, 25, 11, 31, 17 дней, при средней температуре сентября $(t_{cp,cent})$ 18, 20, 23, 20 °C. В 2017, 2018 гг. активность ревущих самцов вновь увеличивается с 44 до 63%, продолжительность брачного периода 24, 33 дня, количество дней с активным ревом 15, 16 дней, при средней температуре 22, 21 °C. В 2019 г. доля ревущих самцов вновь уменьшается в 1,7 раз, до 37%, продолжительность брачного периода 38 дней, из них с ревом 26 дней, при температуре 20 °C. В 2020 г. активность рева вновь повышается в 1,5 раза, до 57%. Такие флуктуации активности участия в гоне самцов трудно объяснимы, хотя могут быть обусловлены погодными условиями. Можно предположить, что другой причиной было антропогенное воздействие на сопредельной с заповедником территории, где олени проводят летние месяцы [8].

Исследуемая территория относится к IV классу бонитета охотничьих угодий, для которой определены характерная численность в 2–8 ос./1000 га, а хозяйственно целесообразная (оптимальная) – 5 ос./1000 га [8].

На момент организации заповедника и последующие два года плотность популяции была ниже значения характерной численности. Но уже в 2013-2016 гг. она достигает характерной численности и повышается до оптимальной. Это могло быть следствием строительства участка газопровода Гай-Кодзор – Варваровка на прилегающей территории к заповеднику вдоль его границ, протяженностью 12 км. Олени из-за фактора беспокойства могли покинуть исконные места обитания и откочевать на территорию заповедника [8]. Вероятно, за счет мигрантов в 2015-2016 гг. в популяции восстанавливается хозяйственно целесообразная численность с плотностью более 5 ос./1000 га, популяция достигает эффективного минимального размера, что приводит к увеличению конкурентных взаимоотношений [8]. Количество участвующих в гоне самцов в 2012-2016 гг. снижается до 25%.

В 2017–2018 гг. строительство газопровода на сопредельном участке завершилось. Часть мигрантов, не занявших благоприятные территориальные участки брачных агрегаций, покинули заповедник и возвратились в прежние места обитания. Плотность популяции и общая численность самцов при этом снизились на 30%, но активность ревущих самцов повысилась до 63% (табл. 1).

Следствием половой активности самцов в 2018 г. становится увеличение численности популяции в 2019 г. практически в 2,7 раза, с превышением оптимума в 2 раза, при этом возрастает доля самок с телятами на 50%.

Осенью 2019 г. активно ревут только 37% самцов, что приводит к снижению плотности популяции в 2020 г. на 25%.

Волнообразная активность самцов заповедника «Утриш», участвующих в конкурентных взаимоотношениях во время гона, расценена нами как внутренний механизм авторегуляции численности популяции, обусловленный ограниченной площадью оптимальных мест брачных агрегаций. Перенаселение самцов свыше оптимального уровня — это стресс, лимитирующий фактор, который включает механизмы авторегуляции, снижая активность самцов и их участие в размножении, что приводит к стабилизации численности и поддержанию популяции в пределах оптимума.

Возрастная демография самцов

В популяции заповедника представлены все возрастные группы самцов, образующие сложную возрастную структуру (табл. 2). На протяжении 10 лет в заповеднике предрепродуктивная группа доминирует над репродуктивной с преобладанием в 7–9 раз. В среднем доля молодых самцов составляет 86%, средневозрастных – 12%, старые самцы образуют незначительную часть – 2%.

Наиболее многочисленной группой в 2013–2019 гг. были молодые самцы, несмотря на снижение их численности с 89 % до 80 %. С 2013 г. доля 3–5-годовалых самцов с четырьмя, пятью, шестью отростками, имеющих дефекты рогов (обломанные концы, отростки, стволы), связанные с поединками, составила 25–60 % особей (табл. 3). Эти самцы образуют гаремы до семи самок с телятами. В 2019 г. 43 % самцов разных возрастных групп имели рога со следами конкурентных взаимоотношений, из них 80 % — молодые, 20 % — средневозрастные.

Возрастная структура самцов в 2013—2021 гг. (по данным фотоловушек)

Количество отростков рогов, шт. Классы по возрасту
Старые

		,	Колі	ичес	тво	отро	стк	ов р	огов	, шт		Классы по возрасту							
Период, год	Общ. кол-во, ос.	1	2	3	4	5	6	7 8 9		9	10	Молодые (1–6 отр.), возраст до 5 лет		(1–6 отр.), возрастные (7–8 отр.), возраст		(1–6 отр.), возраст до 5 лет		Старые (9 отр. и более), возраст 10 лет и более	
				Кол	иче	ство	сам	ицов	, oc			oc	%	oc	%	oc	%		
2013	9	3	0	0	1	3	1	1	0	0	0	8	89	1	11	0	0		
2014	14	3	2	0	0	5	2	2	0	0	0	12	86	2	14	0	0		
2015	20	3	3	0	3	1	3	4	1	2	0	13	65	5	25	2	10		
2016	20	7	1	0	1	5	4	1	1	0	0	18	90	2	10	0	0		
2017	25	8	1	0	3	6	1	2	3	1	0	19	76	5	20	1	4		
2018	19	5	1	1	3	4	2	2	1	0	0	16	84	3	16	0	0		
2019	35	5	1	1	5	7	9	3	2	1	1*	28	80	5	14	2	6		
2020	23	10	1	1	1	6	4	0	0	0	0	23	100	0	0	0	0		
2021	18	7	0	0	0	4	7	0	0	0	0	18 100		0	0	0	0		
Среднее	20	6	1	0	2	5	4	2	1	0	0	17	86	3	12	1	2		

Примечание: * – сброшенные рога.

03.09.2019 г. был отмечен самец с 4-концевыми обломанными рогами, сопровождавший гарем из девяти особей (пять самок и четыре теленка). В 2019 г. 5 самцов с 4-концевыми рогами сопровождали одиночных самок или гаремы до четырех самок с детенышами, 7 самцов с рогами из пяти отростков имели гаремы до семи особей, 5 самцов с 6-концевыми рогами обладали гаремами до пяти особей. Кроме прямых конкурентных отношений у молодых самцов отмечен и другой способ борьбы за самку. Молодые самцы с 2-концевыми рогами в реве не участвовали, хотя с августа неотлучно ходили за небольшими гаремами из двух самок или самки с теленком, одиночной самкой. К началу рева они уводили свои небольшие гаремы подальше от мест скопления ревущих зрелых самцов (фотофиксация 14.08.20214, 20.08.2016).

Довольно малочисленной оказалась группа средневозрастных самцов. За период исследований она увеличивается с 11% в 2012 г. до 25% в 2015 г., с последующим понижением до 14% в 2019 г. Во время гона самцы этой группы образуют гаремы до семи особей из самок с телятами. В октябре 2015 г. впервые у средневозрастных самцов отмечен случай дефекта рогов, связанный с поединками за самок. Самец с 8-концевыми рогами, потерявший левый рог во время гона, сопровождал самку с те-

ленком. В 2019 г. три самца с 7-концевыми отростками имели гаремы до пяти особей, из них два – с поврежденными рогами.

Доля зрелых самцов с мощными рогами, достигающих пика своего развития в 12–14 лет и образующих ядро воспроизводства, невелика. Их численность имеет общую тенденцию снижения от 10 до 4%. Такие самцы не имеют дефектов рогов, связанных с конкуренцией за территорию или гарем, что косвенно показывает их доминирование на своих территориальных участках.

Результаты исследований показали, что популяция кавказского благородного оленя заповедника «Утриш» имеет большую долю предрепродуктивных самцов и по своей возрастной структуре представляет пирамиду населения с прогрессивным типом воспроизводства (по Ф. Бургдёрферу) [10]. Эта «молодая», развивающаяся (растущая) популяция с прогрессивной структурой имеет тенденцию роста численности.

Л.А. Колпащиков (2000) приводит усредненную возрастную структуру самцов таймырской популяции диких оленей по материалам промысловых выборок: сеголетки – 27%, 1–2 года – 25%, 3–7 лет – 40%, 8–10 лет – 5%, старше 11 лет – 3%. При таком соотношении групп возрастная пирамида тождественна прогрессивному типу воспроизводства.

 $\begin{tabular}{ll} \begin{tabular}{ll} \b$

Период, год		Количество отростков рого										
	Ед.	Общ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	изм.	кол-во.	-			 Солич		-				
2013		0	3				0					
Наличие дефектов рогов, свя-	Oc.	9	0	0	$\frac{0}{0}$	0	1	0	$\frac{1}{0}$	0	$\frac{0}{0}$	0
занных с поединками (облом)	%	11	0	0	0	0	33	0	0	0	0	0
Признаки недоразвития	Oc.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
признаки недоразвития	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	70	14	3	2	0	0	5	2	2	0	0	0
Наличие дефектов рогов, свя-	Oc.	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
занных с поединками (облом)	%	7	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Признаки недоразвития	Oc.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015		20	3	3	0	3	1	3	4	1	2	0
Наличие дефектов рогов, свя-	Oc.	2	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
занных с поединками (облом)	%	10	0	0	0	0	100	0	0	100	0	0
Признаки недоразвития	Oc.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016		20	7	1	0	1	5	4	1	1	0	0
Наличие дефектов рогов, свя-	Oc.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
занных с поединками (облом)	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Признаки недоразвития	Oc.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017		25	8	1	0	3	6	1	2	3	1	0
Наличие дефектов рогов, свя-	Oc.	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
занных с поединками (облом)	%	4	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
Признаки недоразвития	Oc.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2018		19	5	1	1	3	4	2	2	1	0	0
Наличие дефектов рогов, свя-	Oc.	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
занных с поединками (облом)	%	5	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0
Признаки недоразвития	Oc.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2019		35	5	1	1	5	7	9	3	2	1	1
Наличие дефектов рогов, связанных с поединками (облом)	Oc.	15	0	0	0	3	4	5	2	1	0	0
	%	43	0	0	0	60	57	56	67	50	0	0
Признаки недоразвития	Oc.	6	0	0	0	20	0	1 11	0	0	0	0
2020	70	23	10	1	1	1	6	4	0	0	0	0
Наличие дефектов рогов, свя-	Oc.	5	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0
занных с поединками (облом)	%	22	0	0	0	0	50	50	0	0	0	0
Признаки недоразвития	Oc.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
признаки подоразвития	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021	/0	18	7	0	0	0	4	7	0	0	0	0
Наличие дефектов рогов, свя-	Oc.	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
занных с поединками (облом)	%	6	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Признаки недоразвития	Oc.	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	%	6	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0
					-			v				

Для возрастной структуры самцов благородного оленя северо-западной части республиканского ландшафтного заказника «Налибокский» (Беларусь) характерно преобладание средневозрастных самцов. Структура 2014 г. характеризуется низкой долей молодых самцов от 2 до 5 лет – 18%, а наиболее многочисленной является группа средневозрастных самцов – 46%, самцы старших возрастных групп – 36% [12]. Такая возрастная структура соответствует регрессивному типу с преобладанием численности пострепродуктивной группы над предрепродуктивной.

Возрастной состав популяции кавказского благородного оленя в Азербайджане по данным С.М. Кулиева (2016) для обоих полов следующий: 73% — взрослые и старые особи, 12% — молодые (1–3 года), 15% — сеголетки. К сожалению, такая неполная характеристика не позволяет построить возрастную пирамиду и дать прогноз состояния популяции.

В Кавказском биосферном заповеднике в 2017 г. доля сеголетков составляет 11,5%, спичаков -6.8% [13].

В условиях восстановления численности популяции заповедника «Утриш» основной репродуктивный потенциал смещен в сторону предрепродуктивных молодых самцов в возрасте до 5 лет.

Существенное снижение численности популяции при сохранении ее оптимальной структуры, по мнению С.С. Шварца (1976, 1980), ведет к мобилизации экологического резерва для восстановления численности, на уровне популяции проявляются механизмы популяционного гомеостаза.

Заключение

Популяция кавказского благородного оленя заповедника «Утриш» в момент организации заповедника находилась в состоянии угнетения и депрессии. С 2011 по 2021 г. она шла по пути восстановления численности посредством внутренних механизмов авторегуляции.

Возрастная структура самцов имеет широкий спектр. Для нее характерна возрастная пирамида прогрессивного типа с преобладанием молодых быков предрепродуктивной группы.

Развитие исследованной популяции идет по пути прогрессивного типа воспроизводства. Мобилизация экологического резерва для восстановления численности проявляется в смещении основного репродуктивного потенциала в сторону молодых предрепродуктивных самцов в возрасте до пяти лет, участвующих в размножении.

С увеличением плотности населения, в случае перенаселения самцов свыше оптимального уровня в популяции включаются механизмы авторегуляции, снижается активность их участия в размножении, что приводит к стабилизации численности и поддержанию ее в пределах оптимума.

Список литературы

- 1. Колпащиков Л.А., Бондарь М.Г., Михайлов В.В. Современная история таймырской популяции дикого северного оленя: динамика, управление, угрозы и пути сохранения // Труды Карельского научного центра РАН. 2019. № 11. С. 5–20. DOI: 10.17076/eco1045.
- 2. Бабаев Э.А., Яровенко Ю.А. Современное состояние популяций кавказского благородного оленя (Cervus elaphus maral Ogilby, 1840) и серны кавказской (Rupicapra rupicapra caucasica Lydekker, 1910) в республике Дагестан // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2014. № 4 (29). С. 13–18.
- 3. Кулиев С.М. Олени Азербайджана (Artiodactyla: Cervidae): монография. Германия: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2016. 216 с.
- 4. Трепет С.А., Мнацеканов Р.А. Кавказский благородный олень: современное состояние и пути сохранения // Русский охотничий журнал. 2016. № 7. С. 8–11.
- 5. Быхалова О.Н., Кудактин А.Н. О метапопуляции кавказского благородного оленя (*Cervus elaphus maral* Ogilby, 1840) на полуострове Абрау // Наземные и морские экосистемы полуострова Абрау: история, состояние, охрана. Научные труды. Том 5. Анапа, 2021. С. 145–153.
- 6. Бозиев М.В., Замаев З.Х., Павлов П.М., Сипко Т.П., Якимов А.В. О благородном олене (Cervus elaphus maral Gray, 1850) Кабардино-Балкарии (ФГБУ «Нальчикское POOX») // Novalnfo. 2017. № 58–4.
- 7. Темботова Ф.А., Пхитиков А.Б., Трепет С.А. Состояние популяции благородного оленя на Северном Кавказе // Горные экосистемы и их компоненты: материалы VII Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 30-летию научной школы чл.-корр. РАН А.К. Темботова и 25-летию Института экологии горных территорий им. А.К. Темботова РАН (Нальчик, 15–20 сентября 2019 г.). Нальчик: ИП М.А. Овчинников (Типография Алеф), 2019. С. 214–216.
- 8. Арова О.З., Хапаев А.Б. Проблема сохранения кавказского благородного оленя на Северном Кавказе // Известия Северо-Кавказской государственной академии. 2021. № 4. С. 3–11.
- 9. Эколого-экономическое обоснование образования государственного природного заповедника «Утриш». М., 2009. 285 с.
- 10. Боярский А.Я., Валентей Д.И., Кваша А.Я. Основы демографии: учебное пособие. М.: Статистика, 1980. 295 с.
- 11. Еськов Е.К., Давыдов А.В., Кирьякулов В.М., Рожков Ю.И., Царев С.А. Биология охотничьих видов зверей. Парнокопытные. Руководство к полевым и лабораторнопрактическим занятиям: учеб. пособие для высш. учеб. заведений / Под ред. проф. Е.К. Еськова. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 302 с.
- 12. Козорез А.И. Возрастная и трофейная характеристика самцов оленя благородного северо-западной части республиканского ландшафтного заказника «Налибокский» // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов (Минск, 7–9 октября 2015 г.). Минск, 2015. С. 144–148.
- 13. Трепет С.А., Ескина Т.Г., Бибина К.В. Особенности динамики популяций копытных в Кавказском заповеднике в 2014—2017 годах // Труды Кавказского государственного природного биосферного заповедника. Вып. 23. Майкоп: Качество, 2018. С. 58–70.
- Быхалова О.Н., Кудактин А.Н. К вопросу о фенотипической структуре популяции кавказского благородного оленя (Cervus elaphus maral Ogilby, 1840) на полуострове Абрау // Успехи современного естествознания. 2019. № 3. С. 70–77.

УДК 911.2

ДИНАМИКА СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА И АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД В НЕКОТОРЫХ РАЙОНАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ И КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Габова В.Н., Федоров Ю.А., Савицкий В.А., Доценко И.В.

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: gabova@sfedu.ru

В работе описана динамика хода среднемесячных температур воздуха, месячных сумм осадков за 1980—2021 гг. в районе бассейнов Соколовского водохранилища, Таганрогского залива и оз. Малый Лиман с целью установления возможного воздействия засушливых периодов на гидрологические режимы данных водных объектов. Проведен сравнительный анализ продолжительности засушливых периодов, зафиксированных в 2020 и 2021 гг. Рассчитаны климатические нормы названных параметров в летние месяцы за 1980—2021 гг. с шагом в 10 лет. Определены отклонения хода среднемесячных температур воздуха и месячных сумм осадков от климатической нормы. Выполнен корреляционный анализ годового хода климатических параметров с течением времени. Получены тренды, демонстрирующие динамику изменения среднемесячных температур воздуха, месячных сумм осадков и их отклонений на рассматриваемых акваториях за многолетний период. Выявлена тенденция к увеличению значений среднемесячной температуры воздуха и ее отклонений в летний период на исследуемых акваториях с 1980 по 2021 г. В наибольшей степени данная тенденция прослеживается в г. Новороссийске. Какая-либо взаимосвязь хода атмосферных осадков с течением времени практически не прослеживается.

Ключевые слова: Соколовское водохранилище, Таганрогский залив, оз. Малый Лиман, засушливый период, температура воздуха, атмосферные осадки, климатическая норма, отклонения от климатической нормы

DYNAMICS OF AVERAGE MONTHLY AIR TEMPERATURES AND PRECIPITATION IN SUMMER IN SOME AREAS OF THE ROSTOV AND KRASNODAR REGIONS

Gabova V.N., Fedorov Yu.A., Savitskiy V.A., Dotsenko I.V.

Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: gabova@sfedu.ru

The paper describes the course of average monthly air temperatures and monthly precipitation amounts dynamics for the period 1980–2021 in the area of the basins of the Sokolovsky reservoir, Taganrog Bay and Lake Maly Liman in order to establish the possible impact of dry periods on the hydrological regimes of these water bodies. A comparative analysis of the duration of dry periods recorded in 2020 and 2021 was carried out. The climatic norms of these parameters in the summer months for the period 1980–2021 are calculated in 10-year intervals. The course of the average monthly air temperatures and monthly precipitation amounts deviations from the climatic norm are determined. The correlation analysis of the annual course of climatic parameters over time is performed. Trends that demonstrate the dynamics of changes in average monthly air temperatures, monthly precipitation amounts and their deviations in the water areas under consideration over a multi-year period have been obtained. The tendency to increase the values of the average monthly air temperature and its deviations in the summer period in the studied water areas from 1980 to 2021 has been revealed. To the greatest extent, this trend can be traced in Novorossiysk. There is practically no correlation between the course of atmospheric precipitation over time.

Keywords: Sokolov reservoir, Taganrog Bay, lake Maly Estuary, dry period, air temperature, precipitation, climatic norm, deviations from the climatic norm

В условиях современного изменения климата европейская часть России представляет особый интерес среди отечественных исследований. На всей ЕТР значения как сезонных и годовых температур воздуха, так и атмосферных осадков возросло в начале XXI в. по сравнению со значениями климатических параметров XX в. [1]. На большей части территории Юга России среднегодовые суммы осадков возросли в 1991–2010 гг. по сравнению с 1970–1990 гг. Однако для побережий Азовского и Черного морей характерно сокращение среднегодового количества осадков с максимальным уменьшением до 60 мм [2].

По данным Росгидромета [3], в масштабе нашей страны максимальное потепление в летнее время приходится на ЮФО. Высокие температуры воздуха наряду с недостаточным количеством атмосферных осадков или их отсутствием могут способствовать наступлению засушливых периодов. По сравнению с другими факторами трансформации окружающей среды, засухи способны оказывать наиболее губительное воздействие, приводя к неблагоприятным экологическим и экономическим последствиям [4]. Они представляют собой характерный элемент климата для Юга России. Так, с 1960-х гг. засухи наблюдаются в равнинной и предгорной зоне ETP [5]. Одним из негативных последствий продолжительных засух является изменение гидрологического режима водных объектов суши, проявляющееся в сокращении водности [1].

В работе [4] сделана попытка изучения динамики засушливых периодов в районе бассейнов Соколовского водохранилища и Таганрогского залива. На примере уникального пресноводного оз. Малый Лиман (далее оз. Лиманчик), установлено [6], что длительный период с суммой атмосферных осадков ниже климатической нормы являлся одним из возможных факторов, который способствовал понижению уровня воды в водоеме. Настоящая работа является продолжением предшествующих исследований и посвящена исследованию хода среднемесячных температур воздуха, месячных сумм атмосферных осадков и их отклонений в летнее время за 1980–2021 гг. с целью определения динамики названных климатических параметров, оказывающих возможное негативное воздействие на гидрологические режимы изучаемых акваторий.

Для достижения цели предполагается решить следующие задачи: построить климатограммы, отражающие характер засушливых периодов на исследуемых акваториях, провести расчет климатических норм

среднемесячных температур, определить температурные отклонения и выполнить корреляционный анализ годового хода обоих параметров с течением времени; рассчитать климатические нормы месячных сумм атмосферных осадков в летний период, определить отклонения осадков и выполнить корреляционный анализ годового хода обоих параметров с течением времени.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования являются Соколовское водохранилище и Таганрогский залив, расположенные в северной и юго-западной частях Ростовской области соответственно, оз. Лиманчик, расположенное в западной части Краснодарского края (рис. 1).

Водные объекты имеют как природное (Таганрогский залив и оз. Лиманчик), так и антропогенно-природное происхождение (Соколовское водохранилище). Изучаемые акватории отличаются по своим гидрологическим и гидрохимическим параметрам и имеют важное рекреационное и хозяйственное значение. Объекты расположены в южной климатической зоне, однако специфика различия климатических условий выбранных объектов выражается в увеличении количества выпадающих атмосферных осадков и температуры воздуха по направлению с севера на юг.

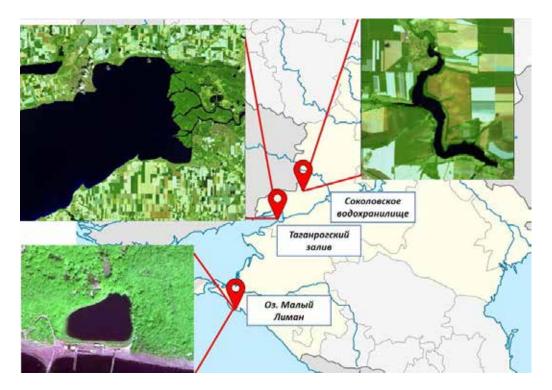


Рис. 1. Карта-схема расположения акваторий исследования

Соколовское водохранилище — это небольшое пресноводное русловое долинное водохранилище [7]. Оно расположено в бассейне р. Кундрючья, отличающемся небольшой водностью. Площадь зеркала составляет 3,9 км², длина 8,5 км, средняя глубина 5 м. Гидроузел находится в 192 км от устья р. Кундрючья в районе пгт. Соколово-Кундрюченский [8]. Соколовское водохранилище является единственным источником водоснабжения шахтерского района Ростовской области, к которому относятся города Красный Сулин и Новошахтинск [8].

Таганрогский залив примыкает к западной части Ростовской области и является крупнейшим заливом Азовского моря. Площадь залива составляет 5600 км², средняя глубина 4,9 м. Концентрация солоноватой воды в заливе неравномерна: восточная часть, в которую поступают воды Дона, опреснена, а западная наиболее осолонена из-за смешения с водами Азовского моря [9, 10]. Таганрогский залив имеет важное экономическое и геополитическое значение для Ростовской области.

Озеро Лиманчик расположено на юге полуострова Абрау у берега Черного моря, в 1,5 км на юг от озера Абрау и отгорожено от моря каменной пересыпью шириной около 35 м, возвышающейся над его уровнем на 3 м. Это пресноводный водоем, площадь которого составляет 24 000 м², глубина 4,5 м, длина 206 м, ширина 148 м [11]. Озеро имеет статус природного заповедника регионального значения.

Анализ климатических параметров выполнен для летних месяцев, так как засушливые периоды в рассматриваемых районах наблюдаются преимущественно в это время.

В работе используется способ определения засушливых периодов с помощью климатограмм, основанных на данных о годовых и месячных суммах осадков и среднегодовой и средней месячной температуре воздуха [4]. В климатограмме (рис. 2) показаны три графика внутригодового хода температуры и осадков для акваторий исследования в 2021 г. На рис. 3 продемонстрированы климатограммы по трем районам исследования за 1980–2020 гг. с шагом в 10 лет. Зелеными линиями (рис. 3) выделены коридоры засухи, отражающие характер изменения засушливых периодов.

Климатическая норма, рассчитанная на следующих этапах для среднемесячных значений температур и месячных сумм осадков, представляет собой среднее многолетнее значение того или иного климати-

ческого параметра, рассчитанное за 30-летний период [12]. Данная методика принята Гидрометцентром России. Согласно Всемирной метеорологической организации, климатическую норму необходимо рассчитывать раз в 10 лет [13]. Таким образом, в работе климатическая норма рассчитана для 1980, 1990, 2000, 2010, 2020 гг. Отклонения среднемесячных значений температур и месячных сумм осадков представляют собой разность между климатическим параметром и его нормой. Для среднемесячной температуры воздуха отклонения ±1 °С принято считать в пределах нормы. В данной работе за отклонение месячных сумм осадков взяты величины более или менее 5% от климатической нормы. Результаты представлены в табл. 1, 4. Временной шаг составляет 10 лет. Значения 2021 г. приведены в столбцах 17-19 табл. 1, 4 для сравнения с предшествующим годом.

В завершение второго и третьего этапа работы выполнен корреляционный анализ на основе данных табл. 1, 4 с целью выявления взаимосвязи изменения климатических параметров с течением времени. Коэффициент корреляции «г» рассчитан при помощи статистического блока MS Excel.

Исследование динамики климатических параметров названных акваторий базируется на данных метеостанций г. Шахты (для района Соколовского водохранилища), г. Таганрога (для района Таганрогского залива), г. Новороссийска (для района оз. Лиманчик), взятых из справочно-информационного портала «Погода и климат» [14] (рис. 4–7, табл. 1, 4).

Результаты исследования и их обсуждение

Как видно из климатограммы (рис. 2), 2021 г. отличался весьма обильными осадками в июне в Ростовской области и в августе в Краснодарском крае. Динамика засух за многолетний период в районах исследования представлена на рис. 3.

В районе г. Шахты выделяются два периода засухи: июль – август, октябрь (рис. 2, а), в то время как в 2020 г. засушливый период длился с июля по сентябрь включительно (рис. 3, а). В Таганроге в 2021 г. засуха зафиксирована в октябре (рис. 2, б), а в 2020 г. (рис. 3, б) засушливый период длился около четырех месяцев, с июля по октябрь включительно. В Новороссийске в 2021 г. случаев засухи не зафиксировано (рис. 2, в), в 2020 г. отмечалось три засушливых периода в этом районе – март – апрель, июнь, август (рис. 3, в).

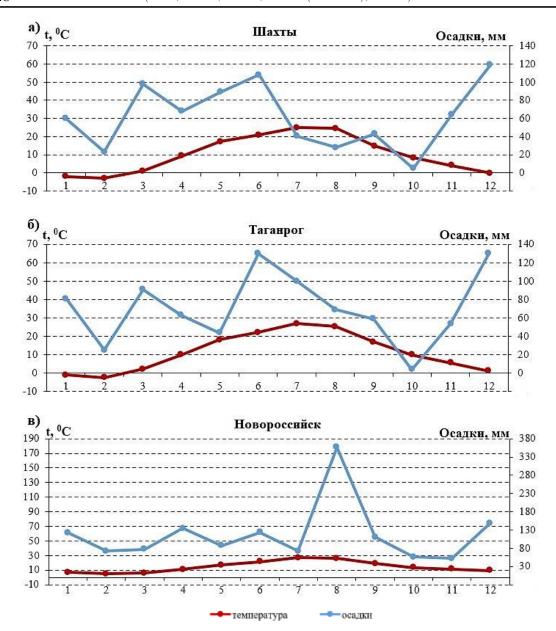
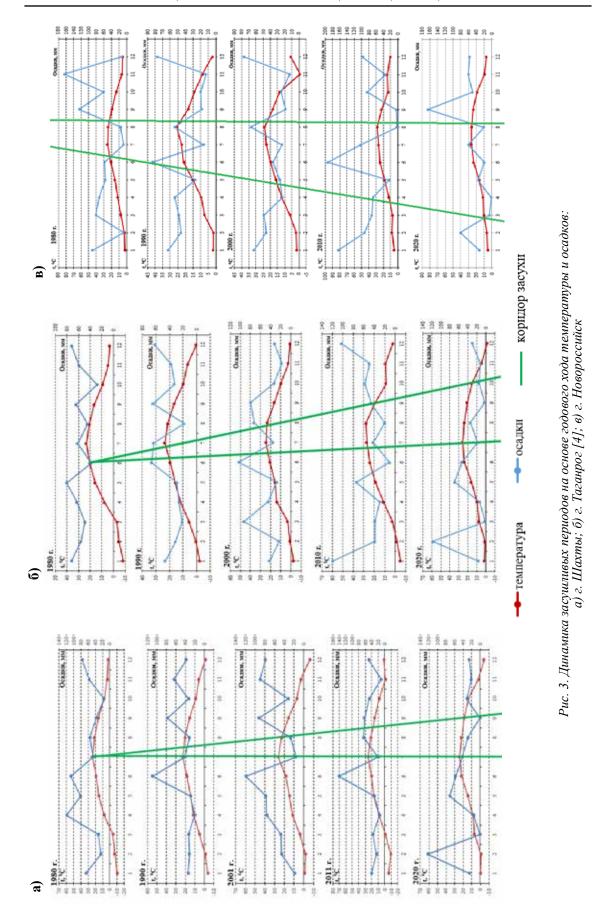


Рис. 2. Засушливые периоды на основе годового хода температуры и осадков по данным метеостанций (Шахты, Таганрог, Новороссийск) в 2021 г.

На следующем этапе работы данные среднемесячной температуры в летний период легли в основу расчета климатической нормы и температурных отклонений для исследуемых акваторий (табл. 1).

Таким образом, большая часть отклонений среднемесячных температур от климатической нормы наблюдалась с 2010 г. в сторону их возрастания. Наиболее часто отклонения встречались в июле для всех трех станций. Максимальные температурные отклонения отмечены в 2010 г. во всех районах исследования. Это объясняется тем, что лето 2010 г. было аномально жарким для многих регионов страны ввиду длительного воздействия антициклона [15]. Температурные отклонения летом 2010 г. составили от +2,6 до +3,7 °C в г. Шахты, от +2,2 до +3,8 °C в г. Таганроге и от +1,1 до +2,5 °C в г. Новороссийске.

Тренды на графиках годового хода среднемесячной температуры воздуха и годового хода отклонений среднемесячных температур от климатической нормы (рис. 4, 5) демонстрируют тенденцию к увеличению значений названных климатических параметров по данным всех трех станций за 1980–2020 гг.



УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ № 8, 2022

•	_
	III
	~
ı	5
E	<u>م</u>

Отклонения среднемесячной температуры воздуха от климатической нормы в летний период, построено по данным метеостанций г. Шахты, г. Таганрога и г. Новороссийска (°C)

-																		
	Отклонения среднемесячной температуры	19			+0,1	+1,8	+1,9			-0,1	+2,3	+1,2			-0,8	+1,6	+0,4	
	Среднемесячная температура	18		2021	21,0	25,1	24,4		2021	22,2	27,0	25,3		2021	21,3	26,8	26,2	
	Климатическая норма	17			20,9	23,3	22,5			22,3	24,7	24,1			22,1	25,2	25,8	
	Отклонения среднемесячной температуры	16			+1,9	+1,2	-0,8			+1,4	+1,2	-0,1			+1,3	+1,1	+0,2	
	Среднемесячная температура	15		2020	22,1	24,5	21,7		2020	23,7	25,9	24,0		2020	23,4	26,3	26,0	
	Климатическая норма	14			20,9	23,3	22,5			22,3	24,7	24,1			22,1	25,2	25,8	
	Отклонения среднемесячной температуры	13			+2,6	+2,7	+3,7			+2,2	+2,5	+3,8			+2,2	+1,1	+2,5	
	Среднемесячная температура	12		2010	23,5	26,0	26,2		2010	24,5	27,2	27,9		2010	24,3	26,3	28,3	Ibie.
	Климатическая норма	11			20,9	23,3	22,5			22,3	24,7	24,1	×		22,1	25,2	25,8	– отрицательные.
	Отклонения среднемесячной температуры	10	г. Шахты		-0,4	+0,7	-0,7	г. Таганрог		9,0-	9,0+	+0,4	г. Новороссийск		-1,4	0,0	+0,7	
	Среднемесячная температура	6	I. II	2000	19,9	23,4	21,8	г. Та	2000	20,7	24,4	23,4	г. Новој	2000	20,1	24,9	25,8	рные отклонения, синим
	Климатическая норма	∞			20,3	22,7	22,5			21,3	23,8	23,0			21,5	24,9	25,1	гклонен
	Отклонения среднемесячной температуры	7			-1,9	+0,2	-0,8			-0,6	0,0	-1,1			-1,6	-0,4	-2,1	~ `
	Среднемесячная температура	9		1990	18,4	22,7	20,4		1990	20,7	23,4	21,2		1990	20,0	24,7	23,2	емперат
	Климатическая норма	S			20,3	22,5	21,2			21,3	23,4	22,3			21,6	25,1	25,3	льные т
	Отклонения среднемесячной температуры	4			-1,3	+1,5	-0,1			-0,9	0,0	-1,6			-2,7	-1,4	-3,8	оложите
	Среднемесячная температура	3		1980	19,0	24,0	21,1		1980	20,4	23,4	20,7		1980	18,9	23,7	21,5	елены п
	Климатическая норма	2			20,3	22,5	21,2			21,3	23,4	22,3			21,6	25,1	25,3	том выд
	Месяц				июнь	ИЮЛЬ	август			ИЮНЬ	ИЮЛЬ	август			июнь	ИЮЛЬ	август	Красным цветом выделены положительные температу

Следует отметить, что для годового хода среднемесячных температур наибольший угол наклона (0,112 и 0,1191) имеют линейные тренды «июнь» и «август» по данным метеостанции Новороссийск (рис. 4, в). На основании этого, можно предположить, что возрастание температуры в июне в г. Новороссийске происходило несколько

интенсивнее, по сравнению с другими метеостанциями.

На базе рис. 4 и 5 в табл. 2 и 3 приведены коэффициенты корреляции годового хода среднемесячной температуры воздуха и годового хода отклонений среднемесячной температуры от климатической нормы соответственно.

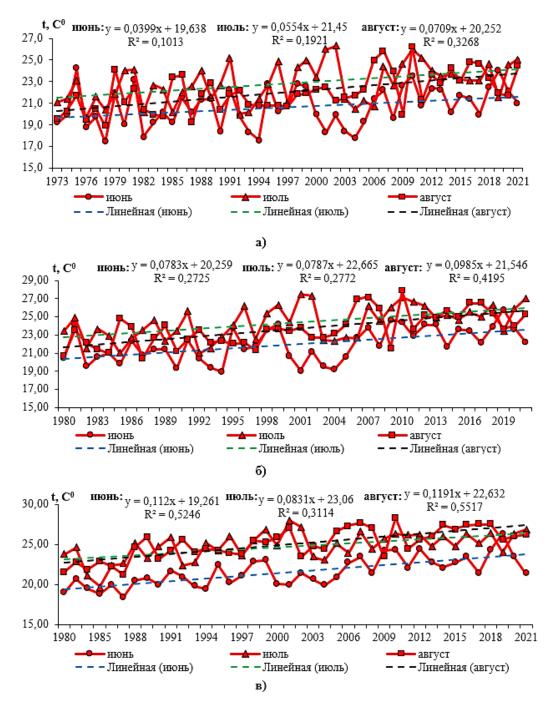


Рис. 4. Годовой ход среднемесячных температур воздуха (t, °C), построено по данным метеостанций: а) г. Шахты; б) г. Таганрог; в) г. Новороссийск

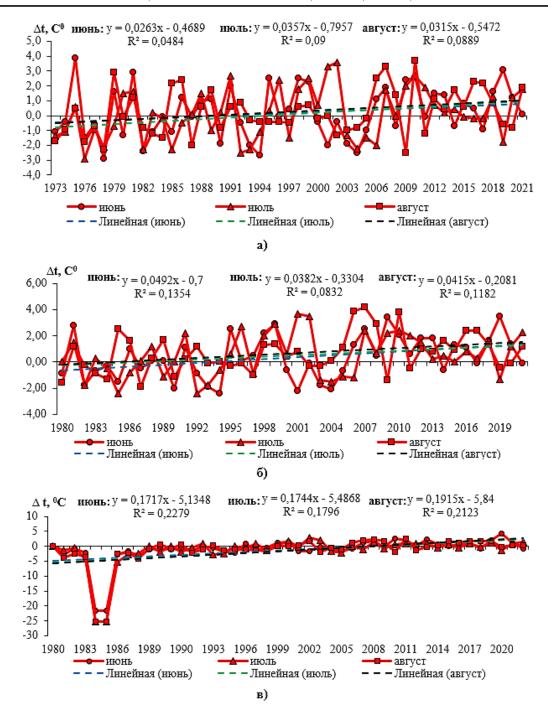


Рис. 5. Годовой ход отклонений среднемесячных температур воздуха (Δt , °C) от климатической нормы, построено по данным метеостанций: а) г. Шахты; б) г. Таганрог; в) г. Новороссийск

Как видно из табл. 2, высокая прямая корреляционная связь хода среднемесячной температуры воздуха со временем в летний период отмечается в июне и августе в Новороссийске (r = 0.72, p > 0.05 и r = 0.74, p > 0.05 соответственно). Заметная прямая корреляционная связь прослеживается в августе в г. Шахты (r = 0.57, p > 0.05), на про-

тяжении всех трех месяцев в г. Таганроге, причем значения г увеличиваются от июня к августу (0,52–0,65), в г. Новороссийске в июле ($r=0,56,\ p>0,05$). Умеренная прямая связь наблюдается с июня по июль в г. Шахты ($r=0,32,\ p>0,05$ и $r=0,44,\ p>0,05$ соответственно) и в июле в г. Новороссийске ($r=0,35,\ p>0,05$).

Таблица 2

Коэффициенты корреляции годового хода среднемесячной температуры воздуха летом за 1980–2020 гг.

Станция	M	Среднемесячная температура							
	Месяц	\mathbb{R}^2	R						
	июнь	0,10	0,32						
Шахты	июль	0,19	0,44						
	август	0,33	0,57						
	июнь	0,27	0,52						
Таганрог	июль	0,28	0,53						
	август	0,42	0,65						
	июнь	0,52	0,72						
Новороссийск	июль	0,31	0,56						
	август	0,55	0,74						

Таблица 3 Коэффициенты корреляции годового хода отклонений среднемесячной температуры от климатической нормы летом за 1980–2020 гг.

Столина	Мооди	Отклонения среднемесячной температуры						
Станция	Месяц	R ²	R					
	июнь	0,05	0,22					
Шахты	июль	0,09	0,30					
	август	0,09	0,30					
	июнь	0,13	0,36					
Таганрог	июль	0,08	0,28					
	август	0,12	0,35					
	июнь	0,23	0,48					
Новороссийск	июль	0,18	0,42					
	август	0,21	0,46					

В соответствии с табл. 3 умеренная прямая корреляционная связь хода отклонений среднемесячной температуры воздуха от климатической нормы со временем прослеживалась в июле — августе в г. Шахты ($\mathbf{r}=0,30,\ \mathbf{p}>0,05$), в июне и в августе в г. Таганроге ($\mathbf{r}=0,36,\ \mathbf{p}>0,05$ и $\mathbf{r}=0,35,\ \mathbf{p}>0,05$ соответственно), с июня по август в г. Новороссийске ($\mathbf{r}=0,48,\ \mathbf{r}=0,42,\ \mathbf{r}=0,46,\ \mathbf{p}>0,05$), в остальных же случаях корреляционная связь была слабой прямой.

Таким образом, можно сделать вывод, что тенденция к возрастанию среднемесячных температур и некоторых отклонений (июль, август, ст. Шахты; июнь, август, ст. Таганрог; июнь — август, ст. Новороссийск) в летний период заметна на всех трех метеостанциях.

Аналогично табл. 1 составлена табл. 4, где продемонстрированы месячные суммы осадков и их отклонения за 1980–2021 гг.

Значительные превышения месячных сумм осадков над климатической нормой отмечались в июне 1980, 2001 (почти в 2 раза), 2011 (в 2,5 раза), 2021 (в 1,9 раз) гг. в Шахтах, в июне — августе 2021 г. (в 2 и более раза) в Таганроге и в июне 2000 (в 2 раза), 2010 (в 3,7 раза), 2021 (в 1,9 раз) гг. в Новороссийске.

Дефицит осадков (табл. 4) наблюдался в июле 2001, 2011 гг. (меньше нормы в 3,1 и 2,5 раза соответственно) в г. Шахты, виюне 1980 (в 1,7 раз), августе 1990 (в 2,4 раза), в июне 2010 (в 5,4 раза) гг. и в июле 2020 г. (в 2 раза) в г. Таганроге. В г. Новороссийске дефицит осадков отмечался чаще: в июле, августе 1980 (в 5 и 4 раза соответственно), в июле, августе 1990 (в 20 и 65,5 раз соответственно), в июле, августе 2010 (в 34 раза), в августе 2010 (в 34 раза), в августе 2020 и 2021 гг. (в 2,3 и 2,5 раза соответственно).

Таблица 4

Отклонения месячных сумм осадков в летний период (построено по данным метеостанций г. Шахты, г. Таганрога и г. Новороссийска (°C)

	_			ı				1																	
Отклонения месячных сумм осадков	19			+51,0	-10,4	-2,7			+70,3	+62,0	+33,7			+56,5	-21,6	-40,2									
Месячная Сумма осадков	18		2021	108,0	40,0	28,0		2021	130,0	100,0	0,69		2021	108,0	40,0	28,0									
Климатическая норма	17			57,0	50,4	30,7			59,7	38,0	35,3			57,1	75,0	71,0									
Отклонения месячных сумм воздкоо	16			1	-8,4	-1,7			-6,7	-20,0	-1,3			+5,5	-19,6	-39,2	ъные.								
Месячная Кумма осадков	15		2020	57,0	42,0	29,0		2020	53,0	18,0	34,0		2020	57,0	42,0	29,0	пожител								
Климатическая норма	41			57,0	50,4	30,7			59,7	38,0	35,3			51,5	61,6	68,2	им — по								
Отклонения месячных сумм осадков	13				+84,0	-30,4	+34,3			-48,7	+4,0	-15,3			+141,5	+40,4	-66,2	ков, син							
Месячная сумма осадков	12		2011	141,0	20,0	65,0		2010	11,0	42,0	20,0		2010	193,0	102,0	2,0	мм осад								
Климатическая норма	=	-		57,0	50,4	30,7			59,7	38,0	35,3	3		51,5	61,6	68,2	чных су								
Отклонения месячных сумм осадков	10	ахты	dA1bi	ахты	г. Шахты	laxtbi		ахты	ахты	ахты	axtbi	+56,1	-33,6	-6,5	Таганрог	+35,8	+35,8	-5,0	+39,0	г. Новороссийск		+53,7	-47,5	+19,0	отрицательные отклонения месячных сумм осадков, синим – положительные.
Месячная сумма осадков	6	п.п	2001	119,0	16,0	27,0	г. Таг	2000	103,0	35,0	73,0	г. Новој	2000	105,0	3,0	83,0	тклоне								
Климатическая норма	∞			67,9	49,6	33,5			67,2	40,0	34,0			51,3	50,5	64,0	льные с								
Отклонения месячных сумм осадков	7			+49,5	-11,6	-5,8			-0,5	+18,7	-25,9			+1,6	-38,1	-64,5	этрицаге								
Месячная сумма осадков	9		1990	110,0	41,0	31,0		1990	0,99	63,0	18,0		1990	48,0	2,0	1,0									
Климатическая норма	5			60,5	52,6	36,8			66,5	44,3	43,9			46,4	40,1	65,5	eTOM Bbi								
Отклонения месячных сумм воздкоо	4	-			+47,5	9,9-	+18,2			-28,5	+16,7	+1,1			+11,6	-32,1	-49,5	Красным цветом выделены							
Месячная сумма осадков	С		1980	108,0	46,0	55,0		1980	38,0	61,0	45,0		1980	58	~	16	Крас								
Климатическая норма	2			60,5	52,6	36,8			66,5	44,3	43,9			46,4	40,1	65,5									
Месяц	1			ИЮНЬ	ИЮЛЬ	август			ИЮНЬ	ИЮЛЬ	август			июнь	ИЮЛЬ	август									

Графики на рис. 6, 7 отражают характер годового хода месячных сумм осадков и их отклонений.

Тренды на графиках либо демонстрируют некоторую тенденцию к сокращению месячных сумм осадков и их отклонений со временем (рис. 6, а, б; 7, а, б), либо слабую тенденцию к их возрастанию (рис. 6, в; 7, в). Наиболее заметная тенденция к сокращению месячных сумм

осадков в г. Шахты с ходом времени, вероятнее всего, связана с неполнотой доступных данных о количестве выпавших осадков за указанный временной период в этом районе (рис. 6, a; 7, a).

Коэффициенты корреляции хода месячных сумм осадков и их отклонений от климатической нормы практически не показали никакой зависимости в течение всего временного периода (табл. 5, 6).

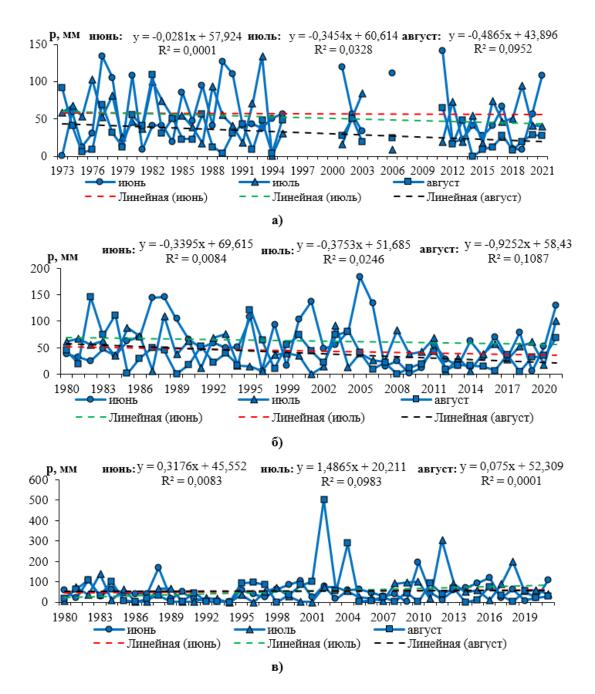


Рис. 6. Годовой ход месячной суммы осадков (р, мм), построено по данным метеостанций: а) г. Шахты; б) г. Таганрог; в) г. Новороссийск

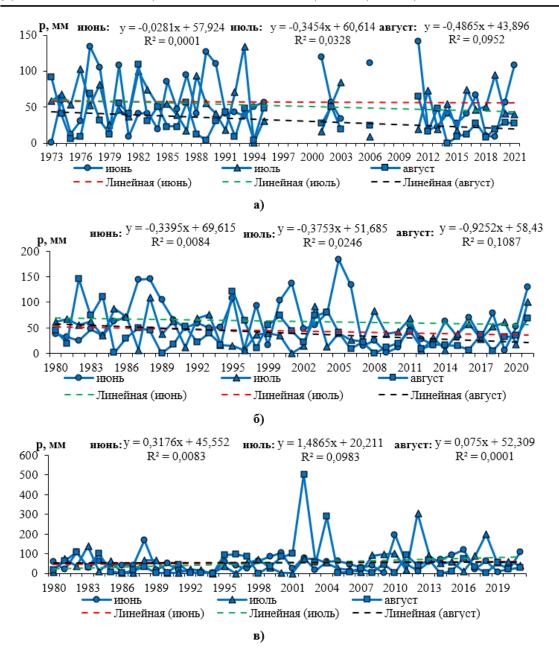


Рис. 7. Годовой ход отклонения месячных отклонений осадков (Δp , мм), построено по данным метеостанций: а) г. Шахты; б) г. Таганрог; в) г. Новороссийск

Большая часть значений r, как для годового хода месячных сумм осадков в летнее время, так и для отклонений, находится в диапазоне от 0,01 до 30, что говорит об очень слабой корреляционной связи или её отсутствии. Умеренная обратная связь прослеживается в изменении месячных сумм осадков в августе в r. Таганроге и умеренная прямая в июле в r. Новороссийске (r = 0,33, p > 0,05 и r = 0,32, p > 0,05 соответственно).

Исходя из полученных коэффициентов корреляции для атмосферных осадков на исследуемой территории, трудно ска-

зать об их четком увеличении или уменьшении за 1980–2021 гг. на всей территории исслелования.

Обобщая все вышесказанное, можно сделать вывод о том, что во всех трех районах исследования с севера на юг Ростовской области и к юго-западу Краснодарского края прослеживается тенденция к увеличению значений среднемесячной температуры воздуха и ее отклонений в летний период. При этом какая-либо заметная взаимосвязь с течением времени и ходом атмосферных осадков практически не прослеживается.

 Таблица 5

 Коэффициенты корреляции годового хода месячных сумм осадков

C	Maarra	Месячная сумма осадков				
Станция	Месяц	\mathbb{R}^2	R			
	июнь	0,0001	0,01			
Шахты	июль	0,03	0,17			
	август	0,09	0,30			
	июнь	0,008	0,09			
Таганрог	июль	0,02	0,14			
	август	0,11	0,33			
	июнь	0,01	0,10			
Новороссийск	июль	0,1	0,32			
	август	0,0001	0,01			

 Таблица 6

 Коэффициенты корреляции годового хода отклонений месячной суммы осадков от климатической нормы

C	Maarra	Отклонений месячной суммы осадков				
Станция	Месяц	\mathbb{R}^2	R			
	июнь	0,02	0,14			
Шахты	июль	0,04	0,20			
	август	0,04	0,20			
	июнь	0,001	0,03			
Таганрог	июль	0,004	0,06			
	август	0,05	0,22			
	июнь	0,001	0,03			
Новороссийск	июль	0,03	0,17			
	август	8 · 10 ⁻⁷	0,00			

В целом в 1980-2020 гг. была выявлена четкая тенденция к увеличению продолжительности засушливых периодов в районе бассейнов Соколовского водохранилища и Таганрогского залива [4]. В качестве исключения представлен полноводный 2021 г., отличившийся интенсивными осадками в летний период. Возрастающие температуры воздуха в районах бассейнов Соколовского водохранилища, Таганрогского залива и оз. Лиманчик наряду с постоянно колеблющимися месячными суммами осадков могут способствовать изменению уровня воды исследуемых акваторий. Таким образом, обмеление оз. Лиманчик, зафиксированное в 2020 г. [11], может быть связано с длительным воздействием засушливого периода. Также стоит отметить, что по данным [10] в 2020 г. в Таганрогском заливе соленость воды возросла почти в 3 раза, по сравнению с данными экспедиции 2006 г. [9].

Заключение

Данная работа представляет собой аналитическое исследование, необходимое для дальнейшего понимания характера влияния климатических факторов на гидрологическое состояние представленных водных объектов и последующего обеспечения комплекса экспедиционных, экспериментальных работ в районах исследования.

Выявлена тенденция к увеличению значений среднемесячной температуры воздуха и ее отклонений в летний период на акваториях исследования с 1980 по 2021 г., что подтверждает наличие длительных засух в районах исследования в течение последних двух десятилетий. Возрастание среднемесячных температур воздуха прослеживается наиболее интенсивно в районе бассейна оз. Лиманчик. Взаимосвязь хода атмосферных осадков с течением времени практически не прослеживается. Однако

в районе Таганрогского залива отмечается некоторое сокращение месячных сумм осадков в летние месяцы. В районе оз. Лиманчик, наоборот, имеет место возрастание месячных сумм осадков.

Исследование выполнено в рамках Программы стратегического академического лидерства ЮФУ Приоритет-2030; проект № СП-12-22-5. Авторы благодарят докт. геогр. наук проф. П.М. Лурье за полезную дискуссию.

Список литературы

- 1. Панов В.Д., Лурье П.М., Ларионов Ю.А. Климат Ростовской области: вчера, сегодня, завтра. Ростов-на-Дону: Донской издательский дом, 2006. 487 с.
- 2. Вышкваркова Е.В. Аномалии атмосферных осадков на Юге России // Экобиологические проблемы Азово-Черноморского региона и комплексное управление биологическими ресурсами: материалы IV-й научно-практической молодежной конференции (Севастополь, 02–04 октября 2017 г). Севастополь: Колорит, 2017. С. 33–36.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. Росгидромет. Москва, 2021.
 104 с.
- 4. Габова В.Н., Федоров Ю.А., Бэллинджер О.Ю., Доценко И.В., Михайленко А.В. Динамика засушливых периодов на примере бассейнов Соколовского водохранилища и Таганрогского залива // Инженерный вестник Дона. 2021. № 10. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/ n10y2021/7224 (дата обращения: 11.08.2022).
- 5. Залиханов М.Ч., Федченко Л.М., Ашабоков Б.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В. Возможные последствия изменения климата на Юге Европейской территории России // Успехи современного естествознания. 2021. № 12. С. 107–113.
- 6. Станиславский К.С., Головков И.В., Доценко Н.В., Савицкий В.А., Фёдоров Ю.А. Экспедиционные исследования бассейна озера Малый Лиман // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: сборник трудов IX Международной научно-практической конференции. Под ред. Ю.А. Федоро-

- ва; Южный федеральный университет. Ростов-на-Дону Таганрог, 2020. С. 614–627.
- 7. Дандара Н.Т., Немыкина Д.Е. Соколовское водохранилище на реке Кундрючья и его акваториальное районирование // Вестник современных исследований. 2019. № 3.17 (30). С. 32–38.
- 8. Лурье П.М., Панов В.Д. Река Дон: гидрография и режим стока. Ростов-на-Дону: Донской издательский дом, 2018. 591 с.
- 9. Федоров Ю.А., Сапожников В.В., Агатова А.И., Аржанова Н.В., Белов А.А., Кузнецов А.Н., Лапина Н.М., Логинов Е.Б., Предеина Л.М., Семочкина Т.Б., Торгунова Н.И. Комплексные экосистемные исследования в Российской части Азовского моря (18–25 июля 2006 г.) // Океанология. 2007. Т. 47. № 2. С. 316–319.
- 10. Фёдоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Дмитрик Л.Ю., Доценко И.В., Чепурная В.И., Трубник Р.Г. Геохимия железа в системе река Миус – Миусский лиман – Таганрогский залив Азовского моря // Астраханский вестник экологического образования. 2020. № 5 (59). С. 172–181.
- 11. Федоров Ю.А., Кузнецов А.Н., Савицкий В.А., Талла Б.В., Головков И.В., Доценко Н.В., Станиславский К.С., Габова В.Н. Особенности образования и функционирования озера Малый Лиман как природно-техногенной системы // Инженерный вестник Дона. 2022. № 4. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2022/7604 (дата обращения: 11.08.2022).
- 12. Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь / Под ред. А.И. Бедрицкого. СПб.: Летний сад, 2009. Т. П. С. 34.
- 13. Commission for Climatology Sixteenth session. Heidelberg, 3–8 July 2014. Abridged final report with resolutions and recommendations. WMO-No 1137. P. 68.
- 14. Справочно-информационный портал «Погода и климат» [Электронный ресурс]. URL: http://www.pogodai-klimat.ru/ (дата обращения: 11.08.2022).
- 15. Козина О.В., Селезнева А.В. Влияние климатических изменений последних десятилетий на ландшафты Волгоградской области // Структурно-динамические особенности, современное состояние и проблемы оптимизациландшафтов: материалы Пятой международной конференции, посвященной 95-летию со дня рождения Ф.Н. Милькова. (Воронеж, 15–17 мая 2013 г.). С. 143–145.

УДК 502.35

НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРОП В ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Кебалова Л.А., Хацаева Ф.М.

ФГБОУ ВО «Северо-Осетинский государственный университет имени К.Л. Хетагурова», Владикавказ, e-mail: kla78@bk.ru

Разнообразие природно-территориальных комплексов Российской Федерации обуславливает формирование и развитие актуальных форм отдыха, а экологический туризм становится приоритетным направлением развития внутреннего и международного туризма в стране. Процесс вовлечения особо охраняемых территорий в продвижение экологического туризма несет в себе увеличение предельно допустимой нагрузки на экосистемы, поэтому для обеспечения безопасности и минимизации ущерба природным комплексам и объектам, а также безопасного пребывания посетителей необходим жесткий контроль строительства и оборудования экологических троп, создание возможностей для развития современной инфраструктуры, сертификация экологических троп, совершенствование правил поведения в особо охраняемых территориях, мониторинг деятельности в области экологического туризма. Для развития экологического туризма с разработанными экологическими тропами — обустроенными, информативно наполненными, безопасными, доступными для людей с ограниченными возможностями здоровья — необходимо решать достаточно много вопросов, в том числе совершенствовать и утверждать нормативно-правовую базу, координировать совместную деятельность органов власти. В статье предпринята попытка, опираясь на многолетние разработки ученых, свести воедино российский и зарубежный опыт по разработке, созданию, оборудованию, описанию экологических троп на особо охраняемых территориях.

Ключевые слова: экологическая тропа, особо охраняемые природные территории, экологический туризм, рекреационная нагрузка, зонирование территории

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE ORGANIZATION OF ECOLOGICAL TRAILS IN SPECIALLY PROTECTED AREAS

Kebalova L.A., Khatsaeva F.M.

North Ossetian State University named after K.L. Khetagurov, Vladikavkaz, e-mail: kla78@bk.ru

The diversity of natural and territorial complexes of the Russian Federation determines the formation and development of relevant forms of recreation, and ecological tourism becomes a priority direction for the development of domestic and international tourism in the country. The process of involving specially protected areas in the promotion of ecological tourism carries an increase in the maximum permissible load on ecosystems, therefore, in order to ensure safety and minimize damage to natural complexes and objects, as well as the safe stay of visitors, strict control of the construction and equipment of ecological trails, creation of opportunities for the development of modern infrastructure, certification of ecological trails, improvement of rules is necessary, behavior in specially protected areas monitoring of activities in the field of ecological tourism. For the development of ecological tourism with developed ecological trails – equipped, informative, safe, accessible to people with disabilities, it is necessary to solve quite a lot of issues, including the improvement and approval of the regulatory framework. Coordination of joint activities of the authorities. The article attempts, based on the long-term developments of scientists, to bring together the experience of Russian and foreign scientists in the development, creation, equipment, description of ecological trails in specially protected areas.

Keywords: ecological trail, specially protected natural territories, ecological tourism, recreational load, zoning of the territory

В 1970–1980-х гг., в связи с интенсивным антропогенным воздействием на окружающую среду, осознанием глобальных экологических проблем, активным обсуждением вопросов охраны окружающей среды, сформировалась новая форма отдыха — экологический туризм. Его концепция была основана на формировании равновесия между экономической выгодой и экологической безопасностью от использования природных комплексов в рекреационных целях.

Цель исследования – разработка научно-методологической базы в виде универсальной модели, включающей комплекс

рекомендаций и требований к созданию экологической тропы в особо охраняемых природных территориях.

Материалы и методы исследования

На сегодняшний день в мире нет единой методики создания экологических троп и единых стандартов, которым должны бы были следовать все без исключения разработчики. Многими учеными разработаны учебно-методические пособия, часто освещающие либо отдельные элементы формирования троп, либо сочетание нескольких, включая пилотные варианты троп.

В Российской Федерации есть попытки свести воедино методические рекомендации по разработке, обустройству и экскурсионному сопровождению экологических троп на примере сборника статей, объединяющего международный опыт по созданию экологических троп под названием «Тропа в гармонии с природой» [1]. Пользуется популярностью методическое руководство С. Траппа, М. Гросса, Р. Циммермана [2], в котором излагаются подходы по планированию, оформлению и изготовлению информационных стендов, приводятся несколько показательных аншлагов и маршрутных троп, регламентируются возможности по разработке макетов стендов, аншлагов, мест для их установки, меры по охране тропы от природного и антропогенного вандализма и т.д. Сотрудниками Томского НИГУ подготовлено учебно-методическое пособие, содержащее информацию о принципах обустройства и использования троп в образовательной и просветительской деятельности на примере экологической тропы в Заповедном парке СибБС ТГУ [3]. А.М. Артемьев, Ш.Т. Абдреева и др. передают опыт по определению норм рекреационных нагрузок на экологические тропы в ООПТ, освещая различные принципы расчета рекреационной емкости ландшафта, рекреационных нагрузок и т.д. [4]. Свои новые подходы по разработке универсальных решений по развитию природных территорий с использованием методологии соучастного проектирования предлагает проектно-аналитическое агентство ZOLOTOgroup (Агентство ZLT). На основе анализа всевозможных запросов на виды и типы туристической инфраструктуры в регионах России Агентством ZLT проектируются типовые ситуации, которые решают любые необходимые задачи для развития туристского комплекса: придорожные зоны, видовые площадки, торговые ряды с зонами пикников и кафе, гостиничные комплексы, современные глэмпинги, спортивные площадки, экотропы и др. [5, 6].

Результаты исследования и их обсуждение

Планирование экологических троп на особо охраняемых территориях имеет свое специфическое решение. Выбор маршрута экологической тропы должен начинаться с исследовательской командной работы специалистов по изучению природных условий и ресурсов территории, привлекательных объектов, традиционных для

этой территории видов хозяйственного использования и отдыха и т.д.

Мы считаем, что работа по созданию экологической тропы должна осуществляться по следующим этапам: организационный; исследовательский; технический, заключительный.

Организационный этап включает в себя создание инициативной группы единомышленников, постановку цели и задач, обсуждение и распределение объема работ по формам и видам деятельности, составление примерной сметы расходов.

Исследовательский этап заключается в тщательном обследовании маршрутной тропы.

Обследование территории необходимо проводить с помощью имеющихся информационных источников, натурных съемок (полевых исследований), современных технических средств. Полевые наземные исследования дают объективную картину предполагаемого маршрута:

- обозначение проблемных участков для создания соответствующей инфраструктуры (переправы, ступени, смотровые площадки, мостики, настилы, дренаж, укрепление склоновых участков, места для привала, информационные щиты и указатели, парковки, санузлы и т.д.);
- отметки в навигаторе точек маршрута, привлекательных для показа и изучения;
- фото- и видеосъемка для оформления аншлагов, буклетов, флайеров, рекламных роликов по маршруту.

Положительным моментом в полевых исследованиях является привлечение волонтеров для тестирования предполагаемой экологической тропы. Это поможет сформулировать ее назначение, доступность для посетителей разного возраста и физических возможностей, протяженность, пространственно-территориальную конфигурацию, модульность, список потребностей у посетителей; изучить возможность сезонного использования, транспортную доступность.

Технический этап – оформление и благоустройство тропы: разработка проекта тропы, оформление и утверждение паспорта тропы, подготовка экскурсионного сопровождения, разработка логотипа и маркировочных знаков, подготовка и издание буклетов, флайеров, сувенирной продукции, дизайнерское оформление и установка информационных щитов, аншлагов и указателей; обустройство и оборудование маршрута, подготовка квалифицированных кадров для работы с гостями, поддержание санитарного состояния территории, обеспечение максимальной безопасности конструкций, сооружений и передвижения по тропе, создание комфортных условий пребывания, реклама и продвижение продукта на туристском рынке и т.д.

Заключительный этап предполагает подготовку и подписание всех нормативно-правовых документов, гарантирующих юридические права на создание тропы, ответственность за оборудование и последующее поддержание объектов и территории в состоянии, обеспечивающем сохранность ООПТ, режим пользования. Одновременно должна вестись подготовка мероприятия, посвященного открытию экологической тропы. После торжественного открытия тропа готова к эксплуатации.

Главным требованием к созданию любого маршрута является составление паспорта. Паспорт экологической тропы — главный документ маршрута, утверждается директором особо охраняемой территории или местной администрацией, на территории муниципалитета которой располагается экологическая тропа.

Каждый природный комплекс со своим набором элементов значительно отличается друг от друга потенциальной устойчивостью к рекреационным нагрузкам. На сегодняшний день допустимая нагрузка на экологическую тропу должна рассматриваться в комплексе воздействия человека в единицу времени на единицу площади используемой территории совместно с воздействием всей инфраструктуры, обслуживающей экологическую тропу. Сам маршрут, как правило, представлен чередованием участков самой тропы с участками, отведенными для остановок и стоянок. По сути, почвенный слой непосредственно тропы при систематическом использовании практически отсутствует, также отсутствует и присущая тропе растительность. В зависимости от природных условий и видов туристско-рекреационной деятельности. оказывающих воздействие на состояние природно-территориального комплекса, необходим учет следующих показателей:

- 1. Каждый туристский маршрут должен иметь свою индивидуальную лимитирующую допустимую рекреационную нагрузку.
- 2. Фактическая рекреационная нагрузка на маршрут должна устанавливаться с наименьшего значения предельно допустимой.
- 3. Систематически необходимо проводить экологический и технический мониторинг маршрута.

4. Ежегодно корректировать комплекс лимитирующих допустимых нагрузок на тропу.

Приведенные показатели говорят о том, что задачи определения рекреационной нагрузки на тропу видоизменяются в соответствии с определенным набором природных условий и ограничивающих (лимитирующих) факторов.

Изначально любая тропа представляет собой небольшую по ширине уплотненную полосу, ограниченную практически нетронутыми ландшафтными комплексами. Устойчивость каждого ландшафтного комплекса к рекреационным нагрузкам индивидуальна и формируется из следующих характеристик: механический состав почвы; плотность почвенного горизонта; влажность почвы; мощность гумусового слоя; угол уклона поверхности; состав растительного покрова; вид корневой системы растительного покрова; возраст растительного покрова.

По мере увеличения рекреационной нагрузки на тропу в ней начинаются проявляться, как звенья одной цепи, деградационные изменения. Из-за роста количества посетителей происходит уплотнение верхнего горизонта почвы, это приводит к снижению влагоемкости почвы, что влечет за собой деградацию растительного покрова и увеличению поверхностного стока, если при этом имеется уклон местности, то это приводит к эрозионным процессам на тропе. Поэтому ключевым моментом при расчете допустимой лимитирующей рекреационной нагрузки необходимо считать единовременное количество посетителей, степень продолжительного воздействия на тропу, круглогодичное использование маршрута.

Для снижения негативных последствий рекреационной нагрузки на экосистемы, где располагаются туристские и экологические тропы, должны выполняться следующие требования: лимитирование количества посетителей в группе; соблюдение графика посещений (в день, неделю, месяц); сохранение верхнего горизонта почвы путем обустройства тропы; соблюдение санитарных норм и правил техники безопасности.

Организация экологических троп должна предусматривать создание комфортных и безопасных условий для знакомства и изучения природных комплексов. Оборудование экологической тропы — важный этап в успешном функционировании маршрута.

Генеральный план маршрута экологической тропы должен предполагать созда-

ние рациональной трассировки маршрута и соответствующей инфраструктуры. Обязательными элементами инфраструктуры должны быть: информационные и маркировочные указатели, информационные аншлаги и стенды, элементы обустройства полотна тропы, компоненты рекреационного использования (малые архитектурные формы, санузлы, источники временного хранения отходов, источники воды и т.д.).

Обустройство экологических троп должно вестись в соответствии с законодательством в области охраны окружающей среды, архитектурных инициатив, соблюдением режимов охраны особо охраняемых природных территорий и нормативами допустимой нагрузки на них.

В составе экологической тропы могут быть оборудованы участки, предназначенные для передвижения пешком и/или участки с параллельно оборудованной автомобильной дорогой, велосипедными треками, дорожками для верховой езды.

Начало и конец экологической тропы должны оборудоваться информационными аншлагами, показывающими нить маршрута, протяженность, остановки возле уникальных объектов природного и историко-культурного наследия, инфраструктуру и т.д. Здесь же должно быть отведено и оборудовано место для стоянки и отдыха.

На въезде в каждый населенный пункт, через который проходит экологическая тропа, а также возле каждого уникального объекта должен устанавливаться информационный щит с соответствующей информацией на объекте. На маршруте посетители должны иметь возможность ознакомиться с инициативами, направленными на охрану природных и историко-культурных объектов.

Желательно, чтобы на тропе размещался как минимум один пункт продажи сувенирной продукции и изделий народных промыслов, один объект общественного питания, в меню которого обязательно включены напитки и блюда национальной кухни. Создание хотя бы одного источника питьевого водоснабжения является приоритетным в оборудовании экологической тропы. В пределах территории экологической тропы должна быть возможность оборудования одной или (желательно) нескольких обзорных точек, где устраиваются смотровые площадки. В пределах экологической тропы посетителям должна быть предоставлена возможность воспользоваться услугами местных или региональных туроператоров.

В структуре экологических троп могут выделяться буферная зона и полоса отчуждения. Буферная зона должна быть предназначена для обеспечения зрительной изоляции полотна тропы от неэстетичных объектов. Ее ширина определяется особенностями местности. Полоса отчуждения должна обеспечивать посетителям возможность беспрепятственного передвижения в чрезвычайной ситуации, причем на открытой местности ее ширина должна быть не менее двух метров, в лесу или зарослях кустарника — не менее одного метра.

Размещение пунктов остановок и отдыха, обзорных точек регламентируются условиями местности и наличием достопримечательных объектов. Основным требованием к ним является их удаленность друг от друга, т.е. они не должны располагаться в прямой видимости друг от друга. В случае, когда обзорные точки или смотровые площадки располагаются на крутых или обрывистых склонах, они должны иметь укрепления со стороны склона, оборудоваться ограждениями и перилами в целях безопасного пребывания на них. Для более широкого обзора ландшафтов на экологической тропе могут устанавливаться обзорные вышки с площадками наверху. Каждая вышка должна возле входа иметь информационную табличку, предупреждающую о максимальном количестве посетителей, которые могут одновременно находиться на ней.

Экологические тропы протяженностью более пяти километров, кроме пункта отдыха в начале тропы должны иметь в середине маршрута как минимум один пункт отдыха, оснащенный навесом, санузлом, урной или контейнером для сбора отходов и, в идеале, источником питьевой воды.

При оборудовании экологических троп желательно предусматривать их доступность, по крайней мере одного модуля, для посещения лицами с ограниченными возможностями передвижения.

На основании данных территориальных и социологических исследований принимается решение о кластерной стратегии развития рекреационных зон территории ООПТ.

В рамках комплексной концепции развития разрабатывается единый архитектурный дизайн-код для всех некапитальных строений и малых архитектурных форм на территории экологической тропы, принимая во внимание специфику и функциональное назначение уже существующих строений и беря в расчет ограничения для особо охраняемых природных террито-

рий. Среди таких принципов: полифункциональность всех некапитальных объектов, современное прочтение традиционных архитектурных форм местности, эстетическая целесообразность и деликатность по отношению к природе, натуральные, красиво стареющие материалы.

Проектно-аналитическое агентство ZOLOTOgroup предлагает использовать аксонометрическую схему зонирования и размещения элементов благоустройства для типовых туристических зон инфраструктуры [5, 6]. Ситуации представляют собой обобщенные, выявленные в ходе полевых и кабинетных исследований запросы наиболее популярных зон туристической инфраструктуры:

- 1. Выбрать и изучить локацию размещения туристической инфраструктурной зоны в регионе.
- 2. Определить функциональное наполнение туристической инфраструктурной зоны.
- 3. Из общего перечня ситуаций выбрать наиболее релевантную функциональному наполнению.
- 4. Адаптировать посадку выбранной ситуации под ландшафт и общие параметры локации размещения туристической инфраструктурной зоны, сохраняя заложенные в ситуацию элементы благоустройства.

Объекты инфраструктуры экологической тропы должны соответствовать всем нормам и правилам техники безопасности. Разработка каждого элемента конструкции должна предусматривать природную и антропогенную антивандальную устойчивость. Конструкции должны иметь прочные основания, хорошо закрепляться, не поддаваться разборке без специальных инструментов. Все искусственные сооружения должны быть хорошо заметными, не иметь опасных острых углов, быть исправными. Площадки, отведенные под временное хранение отходов, не должны обеспечивать доступ животным.

В случае если экологическая тропа пересекается с автомобильной магистралью или железнодорожными путями, на тропе должны устанавливаться предупреждающие знаки и производиться безопасный переход через них. На экологических тропах, проходящих по лесным территориям, необходимо регулярно проводить санитарные рубки, убирать сильно наклоненные и поваленные деревья, а также деревья, застрявшие в кронах других деревьев. В зо-

нах изменчивости рельефа, в опасных местах, должны устанавливаться специальные ограждения, оборудоваться переправы, защитные сетки для склонов и т.д. При подходе к местам, где существует повышенная опасность, связанная с природными факторами, устанавливаются соответствующие предупреждающие аншлаги, информационные знаки, указатели.

Вся информация по технике безопасности, пожарной безопасности и природной опасности, о размещении медицинской и служб МЧС должна размещаться на стендах в начале маршрута, по пути следования, а также приводиться в буклетах и флайерах.

Заключение

Экологические тропы на базе особо охраняемых природных территорий позволяют посетителям ознакомиться с особыми природными объектами, где основное внимание уделяется сохранению биоразнообразия. Поэтому грамотное планирование, рациональное обустройство и информационное сопровождение экологических троп позволят получать максимальное количество знаний о процессах, происходящих в окружающей среде, и способствовать формированию мировоззрения, нацеленного на сохранение и рациональное использование природных богатств.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество», договор № 42/2021-И.

Список литературы

- 1. Тропа в гармонии с природой. Сборник российского и зарубежного опыта по созданию экологических троп. М.: Р.Валент, 2007. 176 с.
- 2. Трапп С., Гросс М., Циммерман Р. Маршрутные тропы, стенды и знаки: соединяя людей и места. 2-е изд. М., 1994.
- 3. Экологическая тропа: обустройство и назначение: учебно-методическое пособие / Авторы-составители А.С. Прокопьев, О.Д. Чернова, Е.С. Гришаева и др. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2018.
- 4. Методические рекомендации по определению норм рекреационных нагрузок на туристские маршруты и экологические тропы особо охраняемых природных территорий. Нур-Султан, 2020. 76 с.
- 5. Проекты. Золото групп. 2020. [Электронный ресурс]. URL: https://zolotogroup.ru/projects (дата обращения: 25.03.2022).
- 6. Северный Кавказ. Концепция развития туристических маршрутов. 2021. [Электронный ресурс]. URL: https://zolotogroup.ru/projects/kontseptsiia-razvitiia-turisticheskikhmarshrutov-dlia-6-ti-respublik-severnogo-kavkaza (дата обращения: 25.03.2022).

УДК 631.484: 574.42: 58.009

ЕСТЕСТВЕННОЕ ЗАРАСТАНИЕ КАРЬЕРНО-ОТВАЛЬНЫХ ГЕОКОМПЛЕКСОВ МЕЛО-МЕРГЕЛЬНЫХ ПОРОД И ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭДАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ

Мануйлов А.А.

ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук», Белгород, e-mail: infa152@yandex.ru

Работа является обобщением исследований сукцессионного потенциала кальцефитных растительных сообществ на территории техногенно нарушенных земель. В результате полевых исследований нарушенных геосистем на территории карьерно-отвальных геокомплексов месторождений писчего мела была проведена оценка протекания растительной сукцессии кальцефитных фитоценотических группировок. Были выявлены, оценены и описаны основные эдафические изменения, которые появляются в процессе естественного зарастания нарушенных земель. Дана оценка формирования почвенно-растительного покрова, обусловленного эдафическими факторами. В результате проводимого исследования было выявлено, что начальный этап сукцессии в экосистемах заброшенных меловых карьеров заключается в постепенном освоении техногенного нарушения одно-, двухлетними видами растений, которые присущи стадии пионерного зарастания. Также было установлено, что на всех объектах исследования на стадии сформированного растительного сообщества наблюдается тренд на высокое содержание органогенных элементов питания растений. А и АС горизонты новообразованных почв обладают высокими показателями гумуса, азота общего, нитратов, и в результате сукцессии в этих горизонтах сильно снижен водородный показатель рН относительно материнской породы и участков пионерного зарастания и начального почвообразования. В совокупности физических эдафических факторов мело-мергельные породы выступают сильным геохимическим барьером, который препятствует прониканию органогенных элементов вглубь по почвенному профилю. Это вынуждает продукты жизнедеятельности бактериального сообщества и растительных группировок концентрироваться на поверхности, образуя маломошные органогенные горизонты.

Ключевые слова: меловые карьеры, естественное зарастание, почвообразование, нарушенные земли, новообразованные почвы, карболитозёмы, кальцефитные фитоценозы

NATURAL OVERGROWTH OF QUARRY-DUMP COMPLEXES AND TRANSFORMATION OF EDAPHIC CONDITIONS IN THE CONDITIONS OF THE FOREST-STEPPE ZONE

Manuylov A.A.

Federal State Scientific Institution "Belgorod Federal Agrarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Belgorod, e-mail: infa152@yandex.ru

The work is a generalization of studies of the succession potential of calciferous plant communities on the territory of technogenically disturbed lands. As a result of field studies of disturbed geosystems on the territory of quarry-dump geocomplexes of chalk deposits, an assessment of the course of plant succession of calcifytic phytocenotic groupings was carried out. The main edaphic changes that appear in the process of natural overgrowth of disturbed lands were identified, evaluated and described. The assessment of the formation of soil and vegetation cover caused by edaphic factors is given. As a result of the conducted research, it was revealed that the initial stage of succession in the ecosystems of abandoned chalk quarries consists in the gradual development of technogenic disturbance by one- to two-year-old plant species that are inherent in the stage of pioneer overgrowth. It was also found that at all research objects at the stage of the formed plant community, there is a trend for a high content of organogenic plant nutrition elements. A and AC horizons of newly formed soils have high indicators of humus, total nitrogen, nitrates, and as a result of succession in these horizons, the hydrogen pH index is greatly reduced relative to the parent rock and areas of pioneer overgrowth and initial soil formation. In the aggregate of physical edaphic factors, chalk-marl rocks act as a strong geochemical barrier that prevents the penetration of organogenic elements deep into the soil profile. This forces the waste products of the bacterial community and plant groups to concentrate on the surface, forming low-power organogenic horizons.

Keywords: cretaceous quarries, natural overgrowth, soil formation, disturbed lands, newly formed soils, carbolithozems, calcifytic phytocenoses

В соответствии со статистическими данными федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии России количество нарушенных земель неуклонно увеличивается каждый год [1]. В 2020 г. количество земель, нарушенных при производстве работ по добыче полезных ископае-

мых, увеличилось на 9,1 тыс. га и составило 1,1 млн га. Добыча полезных ископаемых неразрывно связана со многими экологическими проблемами [2], и одной из них является формирование карьерно-отвального типа ландшафта ввиду технологических особенностей работ по выемке горных пород [3].

Нарушенные земли теряют свою биологическую продуктивность и выходят из биологического круговорота ввиду многих неблагоприятных для зарастания факторов [4]. Также стоит отметить, что любые изменения природных геосистем под влиянием антропогенного или техногенного фактора стоит считать лишь условно обратимыми [5], что обуславливает необходимость если не полностью восстановить природное состояние геосистем, то хотя бы запустить в них процессы самоорганизации.

Для решения данных экологических проблем в России существует нормативноправовая база, которая вынуждает недропользователей проводить работы по рекультивации нарушенных земель [6, 7]. Однако ввиду того, что зачастую запасов плодородного слоя почвы оказывается недостаточно для проведения работ по рекультивации (при условии, что работы проводились с сохранением плодородного слоя) [8] и проведение работ выполняется затратными и технологически сложными методами, то большая часть карьеров по добыче полезных ископаемых остается под самозарастание [9].

На территории Белгородской области находится около 50% общероссийских балансовых запасов мела в размере около 556 млн т [10]. Выработка мело-мергельных пород производится в большинстве районов Белгородской области на учтенных карьерах государственного баланса и несанкционированных выработках. В соответствии с характером и системностью выработки мело-мергельных пород определяется и разная степень техногенных нарушений. На санкционированных крупных карьерах после завершения этапа выемки горных пород нельзя обойтись без капитальных мероприятий по рекультивации ввиду сильного техногенного нарушения геосистем. Однако на территории несанкционированных или малых карьеров добычи мела, которых насчитывается более 300 шт. [11], можно провести мероприятия по возврату нарушенных экосистем в квазиприродное состояние с минимальными стимулирующими воздействиями, что обуславливает экономическую рентабельность проведения подобных мероприятий.

Учитывая распространенность подобных самозарастающих посттехногенных карьерно-отвальных геосистем и стремительное увеличение их количества [1], существует потребность в изучении процессов организации растительного сообщества в процессе растительной сукцессии и ана-

лизе трансформации эдафических условий с течением времени.

Целью исследования явилось изучение процессов естественного зарастания и почвообразования на посттехногенных карьерно-отвальных геосистемах.

Материалы и методы исследования

Объекты исследования – заброшенные карьеры по добыче писчего мела на территории Белгородской области. Для анализа процессов, которые происходят в геосистемах в процессе сукцессии, на каждом объекте исследования было выбрано по две точки анализа. Для выявления мест отбора проб и анализа разных этапов протекания сукцессии анализировалась в первую очередь фитоценотическая группировка. По состоянию фитоценоза проводился отбор участков различного времени зарастания: так на участках со сложной растительной группировкой были определены участки продвинутых стадий формирования эдафических и растительных условий в процессе самозарастания, а на участках с низким проективным покрытием и бедным видовым составом были отобраны участки стадии пионерного зарастания и первичного почвообразования.

Участок исследования естественного зарастания посттехногенных геосистем в с. Графовка

Участок исследования находится на территории Графовского сельского поселения Шебекинского городского округа Белгородской области. Представляет собой заброшенный карьер по добыче писчего мела общей площадью около 2 га. Высота над уровнем моря 142 м, географические координаты месторождения — N50°25'20,2475», E36°42'57,5486». Территория техногенных нарушений фрагментирована, представляет собой несколько участков разработки, отсутствует системность добычи, что дает основания предполагать, что выработка полезных ископаемых была несанкционированной.

Географические координаты участка с развитым растительным сообществом – N50°25'21,4646» Е36°42'59,6280». Координаты участка на стадии пионерного зарастания – N50°25'21,2302» Е36°42'58,3148» (рис. 1).

Участок исследования естественного зарастания посттехногенных геосистем в с. Петропавловка

Участок исследования техногенно нарушенных геосистем находится в с. Пе-

тропавловка Белгородского района Белгородской области. Представляет собой заброшенный карьер по добыче писчего мела общей площадью около 4 га. Высота над уровнем моря — 171 м, географические координаты карьера — N50°42'14,9607», E36°39'23,0384».

Координаты участка сформированного растительного сообщества — $N50^{\circ}42'17,4212$ » $E36^{\circ}39'29,8138$ ». Координаты участка пионерного зарастания — $N50^{\circ}42'17,3966$ » $E36^{\circ}39'27,9985$ » (рис. 2).



Рис. 1. Почвенные разрезы на участках исследования естественного зарастания и почвообразования в с. Графовка (А – разрез на сукцессионной стадии сформированного растительного сообщества; Б – разрез на стадии пионерного зарастания)



Рис. 2. Почвенные разрезы на исследуемых участках: А – почвенный разрез на стадии сформированного сообщества; Б – почвенный разрез на стадии пионерного зарастания

Участок исследования естественного зарастания посттехногенных геосистем в с. Знаменка

Участок исследования техногенно нарушенных геосистем находится в с. Знаменка Шебекинского района Белгородской области. Представляет собой заброшенный карьер по добыче писчего мела общей площадью около 1 га. Высота над уровнем моря 165 м, географические координаты месторождения — N50°30'46,0212» E37°14'20,8647».

Расположение участка сформированного растительного сообщества — N 50°30'45,97128» Е 37°14'22,21296». Расположение участка зарастания на стадии пионерной группировки — N 50°30'46,48729» Е 37°14'21,94152» (рис. 3).

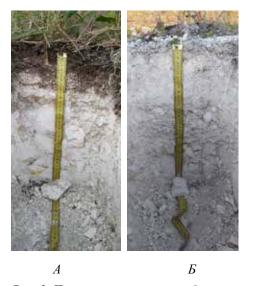


Рис. 3. Почвенные разрезы на объектах исследования: А – почвенный разрез на стадии сформированного сообщества; Б – почвенный разрез на стадии пионерного зарастания

На каждом из объектов исследования были отобраны почвенные пробы в соответствии с выделяемыми почвенными горизонтами, а также было проведено ботаническое описание состава фитоценоза на каждом из мест отбора проб.

Определение видов растительности и их принадлежности к определенным экологическим нишам производилось по полевому атласу растений средней полосы Европейской России [12].

Результаты исследования и их обсуждение

Ботаническая оценка участков естественного зарастания. На основании проведенного ботанического описания видового состава фитоценоза на трех объектах исследования можно утверждать, что сукцессия нарушенных экосистем изначально на стадии пионерного зарастания происходит посредством захвата свободной экологической ниши однолетними-двулетними рудеральными видами. Происходит это по причине того, что данные виды максимально толерантны к жестким эдафическим факторам посттехногенных геосистем. Так, наибольшее распространение например, на стадии пионерного зарастания в с. Графовка (табл. 2) получил вид Senecio vernalis, на стадии пионерного зарастания карьерноотвальных геокомплексов в с. Петропавловка присутствовали в большем количестве Daucus Carota и Senecio vernalis (табл. 4), а на участке пионерного зарастания в с. Знаменка наибольшее распространение получил Terraxacum officinale (табл. 6). По большей части все эти растения являются сорными однолетниками и двулетниками, кроме Terraxacum officinale, который является многолетником и был выявлен одним из основных видов растительности на стадии пионерного зарастания в с. Знаменка. Наличие многолетнего Terraxacum officinale на стадии пионерного зарастания в с. Знаменка связано с устойчивостью данного вида к экологическим факторам среды и лучшими эдафическими условиями, нежели на остальных контрольных участках пионерного зарастания (табл. 1, 3, 5). На участке рецентного почвообразования на техногенно нарушенных землях в с. Знаменка самое низкое значение рН (7,95 ед.), больше всего общего азота (0.05%) и азота в нитратной форме (5,39 мг/кг), лучше нитрификационная способность, выше показатель гумусированности почвы (3,06%) в верхнем горизонте. Данные факторы свидетельствуют о том, что первичное почвообразование в с. Знаменка во временном отношении началось раньше, чем на остальных объектах исследования, и позволило пионерной группировке многолетних растений начать осваивать экологическую нишу.

На остальных объектах исследования пионерное зарастание протекает в том же тренде. На участке пионерного зарастания в с. Графовка наибольшее развитие получил вид Lactuca Serriola, что является двулетним растением с высокой толерантностью к условиям среды. Положительной динамикой развития растительной сукцессии можно считать появление многолетних видов Salvia verticillate (кальцефитный вид) и Inula Britannica (табл. 2).

На участке начальной растительной сукцессии на техногенно нарушенных землях в с. Петропавловка наибольшее распространение получили двулетние виды Senecio vernalis и Daucus carota, что соответствует начальным этапам зарастания техногенного нарушения (табл. 4). Благоприятным фактором развития зарастания можно считать наличие многолетнего Juncus effeusus в единичном числе и некоторое количество кальцефитного многолетника Bupleurum falcatum.

Таким образом, на участках начальной растительной сукцессии можно наблюдать тренд к постепенному освоению нарушенной территории одно-, двухлетними видами и постепенное заселение на следующем этапе сукцессии многолетниками.

 Таблица 1

 Результаты анализа почвенных проб объектов исследования в с. Графовка

Вариант	Глубина слоя, см	рНвод	N-NO ₃ , Mr/Kr	Нитрификационная способность, мг/кт	P_2O_s , MΓ/KΓ	MeCO ₃ ,%	Гумус, %	Copr, %	Общий N, %	ЕКО мМ в 100 г
Сформированное	0-6	7,68	15,3	34,2	58,56	79,04	8,50	4,93	0,14	16
сообщество	40	8,13	2,38	0,83	18,40	94,05	0,21	0,12	0,03	28
Пионерное	0-10	8,01	2,18	3,97	8,88	90,05	0,64	0,37	0,02	38
сообщество	30	7,78	1,83	0,68	14,68	92,55	0,11	0,06	0,02	26

Таблица 2 Состав фитоценотического сообщества в местах отбора проб на карьере писчего мела в с. Графовка

Вариант	Проективное покрытие, %	Количество видов, шт.	Виды растений
Сформированное сообщество	> 90	14	Daucus carota (cop.), Artemisia vulgaris (cop.2), Eryngium planum (sol.), Trifolium hybridum (cop.3), Potentilla anserina (Sp.), Chamaecytisus austriacus (Sp.), Astragalus glycyphyllos (Soc.), Sonchus arvensis (Sol.), Lactuca serriola (sol.), Dipsacus laciniatus (Un.) Agrimonia eupatoria (cop.2), Agrostis tenuis (Sp.), Cichorium cyanus (Sol.), Medicago lupulina (Cop. 2.)
Пионерное сообщество	< 5	4	Inula britannica (Sol.), Daucus carota (Un.), Salvia verticillate (Un.), Lactuca serriola (sol.)

 Таблица 3

 Результаты анализа почвенных проб объектов исследования в с. Петропавловка

Вариант	Глубина слоя, см	рНвод	N-NO ₃ , MΓ/KΓ	Нитрификационная способность, мг/кг	Р ₂ О ₅ , мг/кг	MeCO ₃ %	Гумус, %	Copr, %	Общий N,%	ЕКО мМ в100 г
Сформированное сообщество	0–5	7,53	2,25	17,05	73,73	77,04	7,35	4,26	0,16	12
	30	8,27	1,62	1,13	11,13	91,55	0,05	0,02	0,02	44
Пионерное	1	7,98	5,07	2,1	28,18	94,05	1,41	0,87	0,05	2
сообщество	30	8,28	1,83	0,99	12,41	98,55	0,24	0,13	0,02	32

 Таблица 4

 Состав фитоценотического сообщества в местах отбора проб на карьере писчего мела в с. Петропавловка

Вариант	Проективное покрытие, %	Количество видов, шт.	Виды растений
Сформированное сообщество	> 90	12	Daucus carota (Sp.), Senecio vernalis (Cop.3), Agrimonia eupatoria (Cop.), Fectuca pratensis (Cop.3), Achillea nobilis (Sol.), Pimoinella saxifrage (Sp.), Cichorium intybus (Sp.), Centaurea jacea (Cop.2), Verbascum minor (Sol.), Melitous albus (Cop.1), Deschampsia cespitosa (Cop.), Calamagrostis epigeios (Sp.)
Пионерное сообщество	< 10	5	Senecio vernalis (Sol.), Bupleurum falcatum (Sp.), Juncus effeusus (Un.), Daucus carota (Sol.), Cichorium cyanus (Un.)

 Таблица 5

 Результаты анализа почвенных проб объектов исследования в с. Знаменка

Вариант	Глубина слоя, см	рНвод	N-NO ₃ , MI/KI	Нитрификационная способность, мг/кг	P_2O_s , MΓ/KΓ	MeCO ₃ ,%	Гумус, %	Copr, %	Общий N, %	ЕКО мМ в100 г
Сформированное	0–4	7,26	47,9	82,1	220,55	30,51	20,3	11,77	0,67	28
сообщество	4–7	7,88	2,79	4,31	63,58	91,05	2,96	1,71	0,08	20
	>7	8,27	2,29	0,58	0,73	93,55	0,63	0,36	0,02	58
Пионерное	0–2	7,95	5,39	15,91	21,22	95,05	3,06	1,77	0,05	10
сообщество	> 2	8,12	2,07	0,79	0,37	95,55	0,08	0,04	0,01	14

Таблица 6

Состав фитоценотического сообщества в местах отбора проб на карьере писчего мела в с. Знаменка

Вариант	Проективное покрытие, %	Количество видов, шт.	Виды растений
Сформированное сообщество	> 90	8	Achillea nobilis (Un.), Calamagrotis epigeios (Soc.), Fectuca pratensis (Cop.2), Daucus carota (Cop.1), Carex contigua (Sp.), Astragalus danicus (Sp.), Lactuca serriola (Sp.), Robinia pseudoacacia (Un.)
Пионерное сообщество	< 10	3	Achillea nobilis (Un.), Senecio viscosus (Un.), Terraxacum officinale (Sp.)

На участках сформированного растительного сообщества видовой состав и количество видов кардинально меняется относительно стадии пионерного зарастания. На всех объектах исследования стадия развитого растительного сообщества соответствовала проективному покрытию более 90% и количество видов увеличивалось в несколько раз относительно стадии пионерного зарастания.

На участке развитого растительного сообщества в с. Знаменка видовое разнообразие было почти в три раза больше, чем на стадии пионерного зарастания, и проективное покрытие увеличилось более чем на 80%. Доминантным видом растительного сообщества является многолетник Calamagrotis epigeios и следующим видом по количеству растений на контрольном участке является многолетний Fectuca pratensis (табл. 6). Охарактеризовать сформированное растительное сообщество в с. Знаменка можно как вейниково-овсяницевое, что

определяет его принадлежность к степным растительным сообществам. Также в составе фитоценоза присутствуют в большом количестве многолетники Carex contigua, Astragalus danicus и в небольшом количестве присутствует Lactuca serriola. По соотношению количества вегетационных периодов у представленных видов в растительном сообществе находятся в большинстве многолетние виды, что характерно для сформированного растительного сообщества.

На участке развитого растительного сообщества на техногенно нарушенных землях в с. Графовка видовое разнообразие было в 3,5 раза больше, чем на участке пионерного зарастания, а проективное покрытие составило более 90% (табл. 2). В составе фитоценоза наибольшее распространение получили виды Astragalus glycyphyllos и Trifolium hybridum. Также в составе фитоценотической группировки присутствуют в значительном количестве многолетники Artemisia vulgaris, Agrimo-

nia eupatoria. В меньшем количестве представлены многолетники Sonchus arvensis, Agrostis tenuis, Cichorium cyanus, Eryngium planum. В результате ботанического описания были выявлены следующие однолетние виды: Medicago lupulina, Dipsacus laciniatus, Lactuca serriola. Поскольку определить виддоминант не представляется возможным ввиду отсутствия видов, образующих общий фон, то данное растительное сообщество может быть охарактеризовано как разнотравно-астрагально-клеверное. В данном фитоценозе также прослеживается тенденция на большее присутствие многолетних видов по отношению к одно- и двухлетним в процессе растительной сукцессии.

На участке развитого растительного сообщества на техногенно нарушенных землях в с. Петропавловка видовое биоразнообразие было в два раза больше относительно участка пионерного зарастания (табл. 4). Наибольшее количество растений было представлено многолетниками Fectuca pratensis, Agrimonia eupatoria. В меньшем количестве присутствуют многолетние виды Achillea nobilis, Pimoinella saxifrage, Cichorium intybus, Centaurea jacea, Verbascum minor, Deschampsia cespitosa, Calamagrostis epigeios. Одно- и двухлетние виды были представлены такими видами, как Senecio vernalis, Melilotus albus *u Daucus carota*. На участках естественного зарастания в с. Петропавловка также сохраняется тренд на большее количество многолетних видов в составе сформированного растительного сообщества по отношению к однолетним. По наиболее многочисленно представленным видам можно охарактеризовать данное растительное сообщество как разнотравно-овсяно-репешковое.

Таким образом, на всех объектах исследования на территории сформированного растительного сообщества фитоценоз представлен многолетними растениями с небольшой долей одно- и двухлетних видов. Наблюдается тенденция к постепенному остепнению.

Эдафическая оценка участков естественного зарастания. Под влиянием естественной посттехногенной растительной сукцессии происходит трансформация эдафических условий. Изначально техногенно нарушенные земли обладают большим количеством негативных эдафических факторов, влияющих на зарастание, таких как высокая плотность, высокое альбедо, низкая влагоемкость и водопроницаемость, низкая пористость и др. В сравнении агрохимических

характеристик участков сформированного растительного сообщества и пионерного на карьерно-отвальных геокомплексах в с. Графовка можно заметить, что в процессе зарастания и развития фитоценотической группировки происходит активное накопление азота в общем содержании и в нитратной форме, активное гумусонакопление, снижение рН, увеличение нитрификационной способности за счет большей пористости, снижается емкость катионного обмена и содержание карбонатов, происходит накопление подвижного фосфора (табл. 1). На участке сформированного сообщества в результате первичного почвообразования начинают выделяться морфологические слои, где начинает прослеживаться генетический горизонт A (0–5 cм) и переходный AC (5–6 cм) (рис. 1).

На участке сформированного растительного сообщества в с. Петропавловка происходят аналогичные изменения эдафических условий по отношению к участку пионерного сообщества (табл. 3). На участке начального почвообразования происходит накопление гумуса, азота, фосфора, нитратов, снижается количество карбонатов в верхнем горизонте. На участке сформированного сообщества анализ выявил меньшее количество нитратов по сравнению с участком пионерного зарастания, но большую нитрификационную способность. Низкое содержание нитратов связано с активной фазой вегетации фитоценотического сообщества, где азот нитратной формы расходуется на активное увеличение биомассы, а повышенная нитрификационная способность связана с увеличением пористости верхнего горизонта, что благоприятно для формирования и существования сообщества азотфиксирующих бактерий. На участке сформированного сообщества в процессе зарастания начали выделяться отчетливо А и АС горизонты почвы (рис. 2).

На объектах исследования естественного зарастания и почвообразования на карьерноотвальных геокомплексах в с. Знаменка было зафиксировано коренное изменение эдафических условий в результате естественного зарастания и начального почвообразования на участке сформированного растительного сообщества. В выделяемом А горизонте (рис. 3) 0–4 см было выявлено значительное количество: подвижного фосфора, гумуса, азота общего и в нитратной форме. Сильно снижено количество карбонатов и водородный показатель (табл. 5). Данные факты свидетельствуют об очень активной деятельности микробиологического сообщества и фито-

ценотической группировки в органическом круговороте веществ в верхнем горизонте. Выделяемый горизонт А относительно небольшой, всего 4 см, но по данным агрохимического анализа в данном горизонте происходит основной органический круговорот веществ. Среди всех объектов исследования на стадии сформированного растительного сообщества на участке в с. Знаменка наблюдается наибольшая нитрификационная способность, что косвенно свидетельствует о наибольшей активности микробиологического сообщества среди всех объектов исследования. Также данный факт подтверждается увеличенным количеством подвижного фосфора (220,55 мг/кг), который изначально находится в материнской породе в виде фосфатов кальция и мобилизуется под воздействием кислот, продуцируемых микроорганизмами [13, 14].

Заключение

Начальный этап сукцессии в экосистемах заброшенных меловых карьеров заключается в постепенном освоении техногенного нарушения одно-, двухлетними видами растений, которые присущи стадии пионерного зарастания. На первых этапах зарастания характерен бедный видовой состав и малое проективное покрытие территории нарушения, что постепенно изменяется в процессе сукцессии. В процессе освоения территории нарушения растительными группировками происходит замещение видов однолетников на многолетние виды, а в зависимости от стадии протекания сукцессии наблюдается постепенное остепнение нарушенных земель. Данная динамика показательна по видовому составу фитоценоза на нарушенных землях с. Знаменка, где сукцессия происходит на протяжении более длительного времени.

Стоит отметить, что на всех объектах исследования на стадии сформированного растительного сообщества наблюдается тренд на высокое содержание органогенных элементов питания растений. А и АС горизонты новообразованных почв обладают высокими показателями гумуса, азота общего, нитратов, и в результате сукцессии в этих горизонтах сильно снижен водородный показатель рН относительно материнской породы и участков начального почвообразования. В совокупности физических эдафических факторов мело-мергельные породы выступают сильным геохимическим барьером, который препятствует прониканию органогенных элементов вглубь по почвенному профилю. Это вынуждает продукты жизнедеятельности бактериального сообщества и растительных группировок концентрироваться на поверхности, образуя маломощные органогенные горизонты.

Список литературы

- 1. Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии «Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2020 году» // Официальный интернет-портал правовой информации. 2021. URL: https://rosreestr.gov.ru/upload/Doc/16- upr/Государственный%20(национальный)%20доклад_2020.pdf (дата обращения: 25.05.2022).
- 2. Будыкина Т.А., Соболев А.И. Экологические проблемы горнодобывающей промышленности Курской области // Актуальные вопросы охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности промышленных регионов. Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2017. С. 271–273.
- 3. Петрищев В.П., Чибилев А.А. Закономерности формирования современной ландшафтной структуры горно-технических комплексов медноколчеданных месторождений Оренбургской области // Проблемы региональной экологии. 2010. № 2. С. 89–94.
- 4. Юдина Ю.А. Рекультивация земель, природоохранные мероприятия, направленные на плодородие нарушенных земель // Охрана биоразнообразия и экологические проблемы природопользования. Пенза: Пензенский государственный университет, 2020. С. 282–284.
- 5. Голеусов П.В. Антропогенное нарушение и самоорганизация природных геосистем // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах. Белгород: Политерра, 2015. С. 32–35.
- 6. Акт правительства Российской Федерации от 10.07.2018 № 800 «О проведении рекультивации и консервации земель» // Официальный интернет-портал правовой информации. 2018 г. с изм. и доп. в ред. от 07.03.2019. [Электронный ресурс]. URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201807120031 (дата обращения: 25.05.2022).
- 7. Закон Российской Федерации от 21 февраля 1992 г. № 2395-1 «О недрах» // Российская газета. 1992 г. Ст. 22 с изм. и допол. в ред. от 01.04.2022. URL: https://rg.ru/documents/2022/07/22/document-fz343.html (дата обращения: 25.05.2022).
- Галанина Т.В., Любимова К.В. Проблемы рекультивации и восстановления нарушенных земель при открытой разработке месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 8. С. 256–259.
- 9. Галайда К.П., Тальгамер Б.Л. Оценка самозарастания горных выработок на карьере известняков в г. Инкерман Крымского полуострова // XXI век. Техносферная безопасность. 2022. № 7. С. 75–84.
- 10. Дегтярь А.В., Григорьева О.И., Татаринцев Р.Ю. Экология Белогорья в цифрах: монография. Белгород: КОН-СТАНТА, 2016. 122 с.
- 11. Фурманова Т.Н. Геоэкологическая оценка воздействия добычи общераспространенных полезных ископаемых на состояние окружающей среды (на примере Белгородской области): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Белгород, 2015. 23 с.
- 12. Шанцер И.А. Растения средней полосы Европейской России. Полевой атлас. 6-е изд., М.: Т-во научных изданий КМК, 2020. 461 с.
- 13. Ляховниченко Н.С., Чепурина А.А., Артемьева И.А., Сенченков В.Ю., Сиротин А.А., Соляникова И.П. Антагонистическая и фосфатсолюбилизационная активность грамотрицательной споронеобразующей почвенной бактерии // Достижения науки и техники АПК. 2021. № 8. С. 4–8.
- 14. Донияров Н.А., Тагаев И.А., Асроров А.А., Хуррамов Н.И., Каршиева М.С., Эргашева Ю.О. Основные механизмы микробиологического превращения природных соединений фосфора // Вестник науки и образования. 2020. № 9–3 (87). С. 9–14.

УДК 910.3

СТРУКТУРА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ БАССЕЙНА РЕКИ ТУМАННАЯ

Маслова М.Н.

ФГБУН Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, e-mail: maslova.marina.99@mail.ru

В статье рассмотрено пространственное распределение типов земель в пределах трансграничного бассейна р. Туманная. На основе геоэкологической классификации ландшафтов В.А. Николаева и Земельного кодекса РФ в данной работе было выделено 13 типов земель: используемые и неиспользуемые сельскохозяйственные земли, используемые и неиспользуемые рисовые поля, земли населенных пунктов, земли промышленного использования, карьеры, рубки, лесопосадки, луга, редколесья, лесные земли, водные объекты. На основе дешифрирования космических снимков Sentinel-2 составлена карта использования земель по состоянию на 2020 г. Представлены абсолютные и относительные площади для каждого типа земель по трансграничному бассейну в целом, а также отдельно для российской части, корейской части и административных единиц КНР. При сравнении результатов картографирования трех частей бассейна было установлено, что китайская, корейская и российская части бассейна имеют существенные различия в структуре использования земель. Очевидно, что российская часть имеет наименьшее значение в общей структуре землепользования, т.к. общая доля России составляет менее 1% от площади бассейна р. Туманная. Похожая тенденция отмечена и для соотношения долей Китая и Кореи по каждому типу земель - лидирует китайская часть. Однако отмечается перевес площади лугов, рубок и карьеров корейской части бассейна. В свою очередь, влияние хозяйственной деятельности человека проявляется далеко за пределами бассейна реки. Одним из таких проявлений является загрязнение вод р. Туманной и ее притоков, а также вод залива Петра Великого на российской территории. Рассмотрена важность международного сотрудничества в вопросе устойчивого развития территории бассейна, историческим примером которого является проект Туманган, существующий в настоящее время в формате отдельных несогласованных договоров и проектов.

Ключевые слова: трансграничная территория, трансграничные бассейны, структура использования земель, дешифрирование космических снимков, бассейн реки Туманная

STRUCTURE OF LAND USE OF THE TUMANNAYA RIVER BASIN Maslova M.N.

Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: maslova.marina.99@mail.ru

The article considers the spatial distribution of land use within the transboundary basin of the Tumannaya river. Based on the geoecological classification of landscapes by V. A. Nikolaev and the Land Code of the Russian Federation, 13 types of lands were identified in this work: used and unused agricultural lands, used and unused rice fields, lands of settlements, lands of industrial use, quarries, loggings, forest plantations, meadows, woodlands, forest lands, water bodies. Obviously, the Russian part is of the least importance in the overall structure of land use, since the total share of Russia is less than 1% of the area of the Tumannaya river basin. A similar trend was noted for the ratio of the shares of China and Korea for each type of land – the Chinese part is in the lead. However, there is a preponderance of the area of meadows, loggings and quarries in the Korean part of the basin. In turn, the impact of human economic activity is manifested far beyond the river basin. One of these manifestations is the pollution of the waters of the Tumannaya river and its tributaries, as well as the waters of Peter the Great Bay on Russian territory. The importance of international cooperation in the issue of sustainable development of the basin territory is considered, a historical example of which is the Tumangan project, which currently exists in the format of separate uncoordinated agreements and projects.

Keywords: transboundary territory, transboundary basins, structure of land use, interpretation of space images, Tumannaya river basin

Бассейн реки Туманная является одной из ключевых трансграничных территорий Дальнего Востока России, в пределах которой пересекаются интересы как пограничных стран (России, Китая и КНДР), так и других стран Северо-Восточной Азии и АТР [1]. Неравные части, на которые разделен бассейн государственными границами, имеют различную степень освоения и степень антропогенного воздействия, плотность населения и ресурсный потенциал.

Экономическая, социальная, культурная и экологическая ситуации трансграничной

территории в существенной мере зависят от развития прилегающей территории соседнего государства, а также оказывают влияние на нее [2]. Анализ землепользования особенно важен для разработки совместных действий по контролю и уменьшению этого влияния.

Для анализа землепользования трансграничной территории применяется бассейновый принцип, согласно которому речной бассейна рассматривается как геосистема, обладающая четкими границами и высокой степенью целостности [3].

Целью настоящей работы является анализ структуры использования земель бассейна р. Туманная. В соответствии с целью были решены следующие задачи: проанализированы природные условия и ресурсы бассейна р. Туманная; создана карта структуры использования земель трансграничного бассейна р. Туманная в масштабе 1:100 000; выполнен картографо-статистический анализ структуры использования земель бассейна реки.

Материалы и методы исследования

Картографирование территории бассейна р. Туманная, обработка и дешифрирование космических снимков производилось в программном комплексе ArcMap 10.8. Главным источником информации были спектрозональные снимки космического аппарата Sentinel-2.

В данной работе классификация типов земель основывается на Земельном кодексе РФ [4] и геоэкологической классификации ландшафтов В.А. Николаева [5]. В соответствии с последней ландшафты делятся на две группы. К природным относятся следующие категории земель: леса, луга, редколесья и кустарники, а также водные объекты. В группе антропогенных были выделены используемые и неиспользуемые и неиспользуемые и неиспользуемые и неиспользуемые и неиспользуемые и лесопосадки, карьеры, земли населенных пунктов и земли промышленного использования. Всего 13 категорий земель.

Анализ результатов был проведен для административных единиц, находящихся в пределах бассейна. Для КНР результаты посчитаны на уровне городских уездов (Аньту, Ванцин, Лунцзин, Тумэнь, Хуньчунь, Хэлун, Яньцзи) в составе Яньбань-Корейского автономного округа [6]. В данной работе посчитаны результаты в целом для участка КНДР (провинция Хамгён-Пукто и город Расон) и для российской части (Хасанский район).

Результаты исследования и их обсуждение

Река Туманная берет начало на плоскогорье Чанбайшань со склона потухшего вулкана Пектусан. Длина реки — 549 км. На большем своем протяжении река формирует границу КНДР с КНР, ниже по течению, на последних 17 км до впадения в Японское море, река является пограничной между КНДР и РФ. Общая площадь водосбора составляет 33 тыс. км².

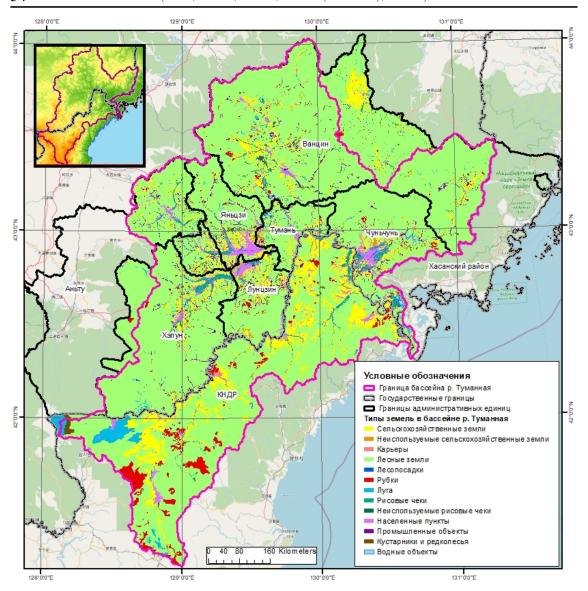
Территория бассейна р. Туманная находится в пределах обширной системы Маньчжуро-Корейских гор Северо-Востока Азии. Они подразделяются на Восточно-Маньчжурские и Северо-Корейские горы [7]. Большая часть бассейна расположена в гористой местности, что обусловило выраженный горный характер реки. Бассейн расположен в юго-восточной, притихоокеанской части умеренного климатического пояса Евразии. Среднегодовое количество осадков составляет 750 мм, средняя температура января -12 °C, июля – 24 °C. А.В. Галанин и А.В. Беликович выделяют Корейско-Хасанскую ботанико-географическую подобласть орографической области Восточно-Маньчжурского нагорья. Почвы подобласти представлены бурыми горно-лесными почвами и горно-лесными желто-бурыми почвами и их типами. Растительность представлена кедрово- и чернопихтово-широколиственными и широколиственными (преимущественно дубовыми) лесами [8].

В результате картографирования построена карта структуры использования земель бассейна р. Туманная и посчитана общая площадь для каждого типа земель (рисунок).

Одной из главных задач исследования является сравнительная характеристика типов использования земель бассейна р. Туманная в пределах КНР, КНДР и РФ. Для этого была составлена результирующая таблица, отражающая соотношение долей каждого типа использования земель в пределах административной единицы по отношению к площади типа земель в пределах всего бассейна р. Туманная (табл. 1).

Общность территориального устройства и хозяйственной деятельности в пределах административной единицы предполагает учет природопользования на территории всего городского уезда. Так, при подсчете статистики для сравнения административных единиц была картографирована и учтена вся площадь городского уезда Ванцин (в пределах бассейна находится около 75% уезда) и городского уезда Хэлун (85%) (табл. 2). При этом в исследовании учитывалась только часть городского уезда Аньту, находящаяся в пределах исследуемой территории — 22% его площади.

Большую территорию бассейна занимают земли лесов $-25\,808,3\,$ км², это около $78\,\%$ общей площади. Преимущественно данный тип земель распространен по периферии бассейна, в более возвышенных и горных участках, отдаленных от русла реки и основных населенных пунктов.



Карта использования земель в бассейне р. Туманная

Лесные массивы часто обладают защитными функциями и выполняют роль резерватов, а также в пределах таких земель находятся охраняемые территории.

Для большинства типов использования земель лидирующие позиции (более 50% от типа земель) занимает китайская часть бассейна р. Туманная. В первую очередь это объясняется тем, что территория КНР занимает 71% от площади бассейна реки. Так, на часть КНР приходится 74,97% лесных земель, КНДР — 24,7%, РФ — 0,33%. В китайской части лидирует городской уезд Ванцин — самый большой по площади среди исследуемых городских уездов, в северной части бассейна — здесь находится 33,5% от данного типа использования земель.

Следующим по площади типом земель являются сельскохозяйственные земли с площадью 3579,15 км² (10,78%), что объясняется наличием развитого в долине реки сельского хозяйства и пищевой промышленности. Данный тип земель распределяется преимущественно на равнинах и склонах. Площадь неиспользуемых сельскохозяйственных земель — 179,21 км², что составляет менее 1% от исследуемой территории.

Сельскохозяйственные земли (используемые и неиспользуемые) в китайской части занимают 50,38%, в корейской — 49,62% от территории бассейна. В российской части данный тип использования земель отсутствует, так как это приустьевой участок преимущественно с водно-болотными угодьями.

Таблица 1 Доля типа использования земель в пределах административной единицы по отношению к площади типа земель в пределах всего бассейна р. Туманная

		Доля типа использования земель в пределах административной единицы по отношению к площади типа земель в пределах всего бассейна р. Туманная, %									
Административ- ные единицы	Водные объекты	Карьеры	Лесные земли	Лесопосадки	Луга	Населенные пункты	Промышленные объекты	Редколесья	Рисовые чеки	Рубки	Сельхоз. земли
Аньту	2,8	0	4,6	1,5	2,5	4,6	6,8	3,6	6,1	0,5	2,8
Ванцин	15,3	25,4	33,5	44,6	12,5	11,2	22	31,4	17	10,4	19,6
Лунцзин	6,7	5,5	5,3	5,9	5,1	12,9	17	15	7,5	4,1	7,8
Тумэнь	5,6	0,0	2,7	20,3	3,7	5,1	7,2	2,2	2,2	0,1	2,9
Хуньчунь	30,7	0,4	8	10,4	7,1	15,2	15,1	8,4	21,5	4,6	6,1
Хэлун	4,8	6,8	16,5	14,8	9,2	9,9	17,9	9,2	17,4	2,8	6,9
ИгданК	4,8	4,1	4,4	2,6	3,5	16,1	12,4	10,1	5,9	0,7	4,4
Всего для территории КНР	70,5	42,2	75	100	43,4	75	98,3	79,8	77,6	23,1	50,4
КНДР	26,1	57,8	24,7	0	55,4	24,9	1,5	20	22,4	76,9	49,6
Хасанский район	3,4	0	0,3	0	1,1	0,1	0,2	0,2	0	0	0
Общий итог	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

 Таблица 2

 Соотношение площадей районов и городских уездов по отношению к площади бассейна р. Туманная

Районы/уезды	Площадь района/ уезда, км ²	Площадь бассейна в пределах района/ уезда, км²	Доля бассейна от площади района/ уезда, %	Доля бассейна в пределах района/ уезда от общей площади бассейна, %
Аньту	7 136,70	1 570,72	22,01	4,31
Ванцин	10 974,29	8 581,78	78,19	30,03
Лунцзин	2 190,83	2 190,83	100	6,01
Тумэнь	1 046,00	1 046,08	100,01	2,87
Хуньчунь	3 040,98	3 032,52	99,72	8,32
Хэлун	5 353,19	4 505,91	84,17	14,72
иєданК	1 732,44	1 730,42	99,88	4,75
КНДР	10 381,27	10 454,32	100,7	28,69
Хасанский район	4 119,42	112,35	2,73	0,31
Итого	45 975,11	36 443,39	79,27	100

В свою очередь, среди китайских уездов лидирует по площади сельскохозяйственных земель уезд Ванцин (19,6% от данного типа земель). Меньшей долей сельхозземель обладают городские уезды Лунцзин, Хэлун и Хуньчунь – 7,81; 6,85 и 6,08% со-

ответственно. Эти уезды находятся в центральной части бассейна, и данный тип земель приурочен непосредственно к долине р. Туманная и ее крупных притоков.

Одной из ведущих отраслей сельского хозяйства в пределах бассейна р. Туманная

является выращивание риса. В данном типе земель были объединены используемые и неиспользуемые рисовые чеки. Преимущественно, картографирование было проведено по снимкам за май – июнь – время, когда чеки заливаются водой и их можно визуально идентифицировать на снимке. Таким образом, большие территории полей вдоль долины реки были отнесены к используемым чекам. В то время как количество неиспользуемых рисовых чеков составило менее 0,5% от исследуемой площади. В пределах исследуемого бассейна рисовые чеки распределяются следующим образом: на территории Китая находится 77,57%, на территории Кореи 22,43%, в пределах России 0%. Среди городских уездов КНР лидируют Хуньчунь (21,54%), Хэлун (17,37%) и Ванцин (17,04%).

Населенные пункты занимают площадь 999,23 км², что составляет 3% от общей площади бассейна р. Туманная. Среди трех частей бассейна земли распределяются следующим образом: на территории Китая находится 75,04%, Кореи – 24,91%, Росcuu - 0.05%. При этом в КНР распределение данного типа земель более равномерное – на городской уезд Яньцзи приходится 16,12%, на Хуньчунь 15,21%, на Лунцзин 12,94%, на Ванцин 11,15%, на Хэлун 9,89%. Именно на территории этих уездов развита основная инфраструктура исследуемой территории. Здесь находятся основные административные и транспортные узлы, к долине реки тяготеет большинство предприятий.

Это подтверждается и наличием территорий, занятых промышленными объектами, общая площадь которых составила 480,5 км². В пределах китайской территории находится 98,33% данного типа использования земель. Для территории КНДР допускается возможность того, что часть промышленных объектов была отнесена к типу земель «населенные пункты», так как отличительные особенности промышленных предприятий здесь не так очевидны. На территории КНР земли, занятые промышленными объектами, распределяются следующим образом: в пределах уезда Ванцин находится 21,98%, Xэлун - 17,88%, Лунцзин - 17,01%, Xуньчунь -15,09%, Яньцзи -12,41%.

Еще один тип использования земель, характеризующий интенсивное антропогенное воздействие — карьеры, общая площадь которых составляет 14,5 км². Бассейн р. Туманная не располагает большим количеством эксплуатируемых месторождений по-

лезных ископаемых, но на его территории активно развиты иные отрасли промышленности (горно- и лесодобывающая, лесоперерабатывающая, пищевая, химическая промышленность), здесь имеется довольно развитая транспортная инфраструктура, активно развивается туризм. Также на территории находится множество предприятий, обслуживающих населенные пункты. Все эти объекты располагаются в пределах типа земель «промышленные объекты». В отличие от предыдущих, данный тип земель был преимущественно классифицирован для территории КНДР – 57,78%. Доля на территории КНР составляет 42,22%.

Лесохозяйственная деятельность является одной из ключевых для исследуемой территории. Оценить масштабы лесовосстановительных работ можно при сравнении соотношения рубок и лесопосадок -686,26 км 2 и $41,\overline{29}$ км 2 соответственно. По территории бассейна Туманной лесопосадки распределены крайне неравномерно. Так, в пределах России и КНДР данный тип использования не представлен. По отношению к корейской части можно говорить о нерациональном использовании земель и необходимости привлечения внимания к данному вопросу. В Китае по площади лесопосадок лидирует Ванцин – 44,55%, далее располагаются Тумэнь (20,25%) и Хэлун (14,77%). По результатам дешифрирования оказалось, что для КНДР лесохозяйственная деятельность является более развитой и приоритетной, чем для КНР -76,89% и 23,10% рубок соответственно. Соотношение площади рубок с площадью восстанавливаемых лесов настолько мало, что требует особого внимания к рациональному ведению данной деятельности.

Наименее подверженными антропогенному воздействию являются луга и редколесья. Первый тип земель занимает площадь 653,66 км². В свою очередь, редколесья занимают площадь всего 182,34 км². Луга преимущественно распространены в пределах КНДР – 55,42%. На территории КНР находится 43,44% данного типа использования земель, на территории $P\Phi - 1,14\%$. При этом для российской части это является одним из самых распространенных типов земель, так как в России территорию бассейна р. Туманная занимают преимущественно водно-болотные угодья. Редколесья большей частью распространены в Китае – 79,82%, на долю корейской части бассейна приходится 20,03%, российской – менее 1%. При этом данный тип земель распространен вдоль временных водотоков, преимущественно на возвышенных участках бассейна.

Заключение

сельскохозяй-Населенные пункты, ственные земли, рисовые чеки и остальные земли, свидетельствующие о какой-либо хозяйственной деятельности, приурочены к долине р. Туманная и ее притокам. Такое развитие территории сформировалось в результате исторического заселения и дальнейшего развития территории, а также в силу экономической целесообразности хозяйственной деятельности. В свою очередь, лесные земли занимают окраинные части бассейна, отличающиеся горной местностью, обладающие меньшей транспортной доступностью и менее благоприятные для ведения хозяйства.

Соотношение типов использования земель напрямую отражает экономическую, социальную и экологическую ситуацию в пределах бассейна р. Туманная. Для всех трех стран территория бассейна относится к административным единицам со средним или ниже среднего уровнем социально-экономического развития по отношению к общему развитию стран-участниц.

Российская часть бассейна имеет наименьшее значение в общей структуре землепользования, так как общая доля России составляет менее 1% от площади бассейна р. Туманная. Похожая тенденция отмечена и для соотношения долей Китая и Кореи по большинству типов земель — лидирует китайская часть.

На территории бассейна р. Туманная проявляется воздействие сельского хозяйства, лесо- и горнодобывающей, целлюлозно-бумажной и химической промышленности, строительной отрасли, деятельность электростанций, развивающейся транспортной инфраструктуры и туризма. Увеличение населения, развитие экономики и расширение площади используемых земель приводит к вырубке лесов и деградации ландшафтов, загрязнению воздушной среды и водоемов, изменению местообитаний животных и растений, изменению водного режима [2]. Одним из явных проявлений является загрязнение вод р. Туманной и ее притоков, загрязняется устьевая часть и в целом воды залива Петра Великого [9]. Только в последние десятилетия проявляется эффективное управление охраняемыми природными территориями — активно ведется борьба с браконьерством, увеличивается площадь охраняемой территории и повышается класс ООПТ до Биосферных [2].

Подобные тенденции изменения природопользования отмечались в начале XX в. в работах по трансграничному диагностическому анализу бассейна р. Туманная, которые проводили сотрудники ТИГ ДВО РАН [2], а также некоторыми зарубежными исследователями. В работе Чжан Бай и Ли Фан по анализу изменений земель в районе р. Туманная в КНР отмечалось увеличение площади сельскохозяйственных земель и жилой застройки в период с 1976 по 2001 г., в то время как площадь рисовых полей, лесов, пастбищ и неиспользуемых земель сокращалась. Еще в 2001 г. авторы работы говорили о необходимости принятия ряда мер для сохранения земель и устойчивого развития территории [10].

С начала 1990-х гг. привлекается активное внимание к вопросу трансграничного сотрудничества на территории бассейна — примером является проект Туманган [11]. Однако к настоящему времени не существует общей программы устойчивого и рационального развития территории [12].

Анализ структуры использования земель является основополагающей базой для разработки программ устойчивого природопользования. Представленные результаты картографирования и пространственного анализа структуры использования земель являются первым шагом к всесторонней оценке природно-хозяйственного состояния и определения трансграничных градиентов в бассейне р. Туманная.

Список литературы

- 1. Каширская А.В. Роль Дальнего Востока России в региональном сотрудничестве стран Северо-Восточной Азии // Общество. Среда. Развитие. 2014. № 2 (31). С. 67–69.
- 2. Бакланов П.Я., Ганзей С.С., Качур А.Н. Трансграничный диагностический анализ: Программа развития ООН / Фонд Global Environment Facility — Стратегическая программа действий для р. Туманной. Владивосток: Дальнаука, 2002. 253 с.
- 3. Корытный Л.М. Бассейновая концепция: от гидрологии к природопользованию // География и природные ресурсы. 2017. № 2. С. 5-16.
- 4. Земельный кодекс Российской Федерации от 25 октября 2001 г. № 136-ФЗ (ред. от 28.05.2022) // Собрание законодательства Российской Федерации. 29 октября 2001 г. № 44. Ст. 4147.
- 5. Николаев В.А. Ландшафтоведение. Семинарские и практические занятия. М.: Географический факультет МГУ, 2006. 208 с.
- 6. Севастьянов С.В., Вольнчук А.Б. Китайские подходы к развитию трансграничного сотрудничества в северо-восточной Азии (на примере Яньбянь-Корейского автономного округа) // Теория и практика общественного развития. 2015. № 2.

- 7. Урусов В.М., Варченко Л.И., Майоров И.С. Введение в экологический кадастр Восточно-Маньчжурских гор (Приморье) / отв. ред. О.А. Смирнова. Владивосток: Изд-во Дальневосточного федерального университета, 2014. 211 с.
- 8. Галанин А.В., Беликович А.В. Восточноазиатская гумидная и Азиатско-Североамериканская аридная ботанико-географические дуги // Наша Ботаничка. 2012. [Электронный ресурс]. URL: http://ukhtoma.ru/geobotany/arc_01.htm (дата обращения: 6.08.2022).
- 9. Тищенко П.Я., Семкин П.Ю., Павлова Г.Ю., Тищенко П.П., Лобанов В.Б., Марьяш А.А., Михайлик Т.А., Сагалаев С.Г., Сергеев А.Ф., Тибенко Е.Ю., Ходоренко Н.Д., Чичкин Р.В., Швецова М.Г., Шкирникова Е.М. Гидрохимия
- эстуария реки Туманной (Японское море) // Океанология. 2018. Т. 58. № 2. С. 192–204.
- 10. Проблемы устойчивого природопользования в нижнем течении реки Туманная: материалы международной конференции (Владивосток, 17–19 сентября 2007 г.) / Под ред. П.Я. Бакланова и В.П. Каракина. Владивосток: ДВО РАН, 2007. 131 с.
- 11. Гулидов Р.В. Проект «Туманган»: вымысел и реальность // Пространственная экономика. 2012. № 1. С. 90–108.
- 12. Ткаченко И.Ю. Россия и перспективы интеграции в Северо-Восточной Азии // 25 лет внешней политике России»: с6. материалов X Конвента РАМИ. 2017. Т. 2. Ч. 1. С. 60–73.

УДК 911.9

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТАНКЕРНЫХ МОРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ

Пономаренко И.А.

Филиал ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Калининград, e-mail: i.ponomarenko@bk.ru

В статье рассмотрены проблемы развития танкерных морских перевозок в Арктической зоне России. Проанализирована взаимосвязь процессов освоения, добычи, переработки и транспортировки нефтегазовых ресурсов в свете решения новых геоэкономических задач России, связанных с развитием Арктической зоны и отечественной нефтегазовой отрасли. Особое внимание уделено транспортировке нефтегазовых ресурсов, так как необходимость активного развития танкерного флота в Арктической зоне России обусловлена удаленностью районов добычи ресурсов от мест их потребления. Целью статьи является выявление пространственных особенностей транспортно-логистической инфраструктуры танкерных морских перевозок в Арктической зоне страны. Отмечено, что развитие портов Арктического бассейна происходит достаточно интенсивно, чему способствует наращивание добычи нефтеналивных грузов, природного газа и их грузооборот танкерами, с помощью ледокольного флота, который позволяет осуществлять круглогодичную эксплуатацию Северного морского пути. Обоснованы предложения по необходимости модернизации и развития морской транспортной инфраструктуры, использования альтернативных маршрутов транспортировки ресурсов, а также активного внедрения в транспортный комплекс России судов высокого ледового класса. Сделан вывод, что морские танкерные перевозки являются практически безальтернативным вариантом перевозки нефтегазовых ресурсов, добываемых в Арктической зоне России.

Ключевые слова: морской транспорт, морская транспортная система, порт, танкер, Арктическая зона России, нефтегазовый комплекс

SPATIAL FEATURES OF TANKER SHIPPING IN THE ARCTIC ZONE OF RUSSIA

Ponomarenko I.A.

Branch of the VUNC of the Navy "Naval Academy", Kaliningrad, e-mail: i.ponomarenko@bk.ru

The article deals with the problems of development of tanker shipping in the Arctic zone of Russia. The relationship between the processes of development, production, processing and transportation of oil and gas resources is analyzed in the light of solving new geo-economic problems in Russia related to the development of the Arctic zone and the domestic oil and gas industry. Particular attention is paid to the transportation of oil and gas resources, since the need for the active development of the tanker fleet in the Arctic zone of Russia is due to the remoteness of the resource extraction areas from the places of their consumption. The purpose of the article is to identify the spatial features of the transport and logistics infrastructure of tanker shipping in the Arctic zone of the country. It is noted that the development of the ports of the Arctic Basin is quite intensive, which is facilitated by the increase in the production of oil cargo, natural gas and their cargo turnover by tankers, with the help of the icebreaking fleet, which allows year-round operation of the Northern Sea Route. Substantiated are proposals on the need to modernize and develop the maritime transport infrastructure, use alternative routes for transporting resources, as well as the active introduction of high-ice-class ships into the transport omplex of Russia. It is concluded that sea tanker transportation is practically the only option for transporting oil and gas resources produced in the Arctic zone of Russia.

Keywords: sea transport, marine transport system, port, tanker, Arctic zone of the Russia, oil and gas complex

Освоение Арктической зоны имеет ключевое геополитическое, экономическое и социальное значение для России. Экономический потенциал зоны чрезвычайно велик, так как в районах Крайнего Севера сосредоточены огромные запасы природных ресурсов: нефти, газа и ряда других полезных ископаемых. Освоение, добыча, переработка и транспортировка данных ресурсов остаются стратегической задачей экономики страны, её топливно-энергетического комплекса и развития нефтегазовой отрасли. При этом особое внимание уделяется транспортировке ресурсов, поскольку районы добычи, как правило, удалены от мест их потребления, что обуславливает

необходимость активного развития танкерного флота в данном регионе.

Морской транспорт является одним из основных инструментов развития экономического сотрудничества. По прогнозам ООН и ИМО, в обозримом будущем морской транспорт останется мировым лидером перевозок, так как, по сравнению с другими видами транспорта, он имеет ряд преимуществ. Использование естественных морских путей, пропускная способность которых практически не ограничена и для поддержания которых требуется меньше затрат, чем для других видов транспорта, обусловливает сравнительно низкую себестоимость перевозок.

Некоторые аспекты пространственной организации морского транспорта в Арктической зоне России уже становились предметом изучения отдельных исследователей. В частности, необходимо отметить исследование Г.В. Лебедева, связанное с изучением пространственной организации инфраструктуры комплекса морского транспорта Арктической зоны РФ [1]. Однако данная работа сосредоточена на инфраструктурной подсистеме морского транспортного комплекса Арктической зоны РФ в целом, а не на конкретных видах перевозок, в частности танкерных, на долю которых приходится основное количество грузов. Между тем с научной точки зрения проблема танкерных морских перевозок нефти и газа в российской Арктике остается мало изученной. Прежде всего, открытым остаётся вопрос пространственных особенностей танкерных морских перевозок в данном регионе. Поэтому данное исследование призвано предпринять попытку восполнить данный научно-практический пробел. Соответственно, целью статьи стало выявление географических особенностей транспортно-логистической инфраструктуры танкерных морских перевозок в Арктической зоне России.

Материалы и методы исследования

Для достижения цели были применены разнообразные общенаучные и частнонаучные методы, которые позволили наиболее полно и всесторонне исследовать пространственные особенности танкерных морских перевозок в Арктической зоне. В частности, использование картографического метода позволило исследовать маршруты танкерных морских перевозок нефти и газа в изучаемом регионе. Метод экономико-статистического анализа нашел свое применение в процессе выявления динамики грузооборота портов Арктического бассейна России.

Результаты исследования и их обсуждение

Морская транспортная система российской Арктики отличается небольшими объемами перевозок, однако является сложной в техническом, технологическом, экономическом и организационном плане. В научной литературе выделяются следующие факторы, обуславливающие важность морского транспортного комплекса в северных широтах: слабая разветвленность или отсутствие наземных коммуникаций круглогодичного действия в районах, прилегающих

к морскому побережью; связывающая роль морских коридоров для внутренних водных путей Европейского и Азиатского Севера; осуществление контроля над морскими акваториями и потенциально богатыми ресурсами страны, рост транзитных перевозок по трассе Северного морского пути (далее – СМП) [2, с. 9]. В целом морской транспортный комплекс Арктической зоны России можно охарактеризовать как совокупность морских судов и соответствующей инфраструктуры, включающей трассу СМП, арктический ледокольный флот и морские порты. В настоящее время морские суда российской Арктики являются практически безальтернативным и наиболее эффективным видом транспорта в силу того, что природная экстремальность этой территории (низкие температуры в течение всего года, долгая полярная ночь и т.д.) осложняется негативным воздействием социально-экономических факторов, а также стоимостью жизни и транспортной недоступностью [3, с. 10]. Как справедливо отмечается в науке, сегодня Арктика находится в центре внимания, поскольку происходящие в этом макрорегионе климатические изменения могут способствовать расширению возможностей разведки и добычи полезных ископаемых на арктическом шельфе, увеличению доступности судоходства и открытию новых транспортных маршрутов в Северном Ледовитом океане [4, с. 147].

Транспортный флот России в Арктике представлен судами арктических ледовых классов. Основными судоходными компаниями являются ПАО «Совкомфлот», АО «Роснефтефлот», ООО «Газпром флот», ПАО «ГМК «Норильский никель». Деятельность компаний сосредоточена на освоении газовых и нефтяных месторождений, а также транспортировке добываемых ресурсов. Начиная с 2000-х гг. ведущей российской судоходной компанией, создающей и эксплуатирующей танкеры для перевозки сырой нефти и нефтепродуктов, а также химических грузов, выступает компания «Совкомфлот», которая является крупнейшим в России оператором флота ледового класса. Свыше 80 судов предназначены для работы компании в сложных климатических условиях и обслуживания крупных индустриальных арктических проектов («Варандей», «Приразломное», «Новый Порт», «Ямал СПГ», «Арктик СПГ 2») [5, с. 171]. Стоит отметить, что в настоящее время деятельность судоходных компаний осложняется тем, что большая часть судового оборудования на современных танкерах, в том числе навигационного, разработана и произведена иностранными предприятиями, что создает проблему зависимости от этих предприятий при последующем обслуживании и модернизации данного оборудования, особенно в условиях политической нестабильности. В связи с этим представляется необходимым развитие отечественной системы технического оснащения судов оборудованием, разработанным и произведенным в России.

Говоря о морской транспортной системе Арктической зоны России, стоит выделить и ледокольный флот, который является одним из ключевых элементов инфраструктуры морской транспортной системы российской Арктики и позволяет осуществлять круглогодичную эксплуатацию СМП. Климатические особенности данной территории оказывают существенное влияние на саму организацию морской транспортной деятельности, в связи с этим поддержание надежных морских транспортных связей невозможно без присутствия ледокольного флота. Обеспечением эксплуатации и технологического обслуживания атомных ледоколов занимается ФГУП «Атомфлот». В настоящее время в состав атомного ледокольного флота Арктики входят: атомные ледоколы («Ямал» и «50 лет Победы») и ледоколы с однореакторной установкой («Таймыр» и «Вайгач»). Кроме того, в 2020 г. атомный ледокольный флот был пополнен головным универсальным атомным ледоколом «Арктика» проекта 22220, который в настоящее время является самым большим и мощным атомным ледоколом в мире [6, с. 71].

Морской порт, являясь также ключевым объектом морской транспортной системы, совмещает в себе функции обеспечения судоходства и грузоперевозок. Арктический бассейн России имеет в наличии много портов, в частности: Анадырь, Архангельск, Беринговский, Варандей, Витино, Диксон, Дудинка, Кандалакша, Мезень, Мурманск, Нарьян-Мар, Онега, Певек, Провидения, Сабетта, Тикси, Хатанга, Эгвекинот. Морские порты выполняют различные функции, в том числе стоянка, швартовка и бункеровка судов, хранение, погрузка-разгрузка грузов, ремонт судов и портового оборудования, контроль и обеспечение безопасности [1, c. 8].

Грузооборот портов Арктического бассейна России представлен следующим об-

разом: основным портом, осуществляющим грузооборот, является порт Мурманск (в 2021 г. транспортировано более 1 млн т грузов, в основном нефть и уголь) и порт Сабетта (перевезено более 30 тыс. т грузов). При этом стоит отметить незначительное снижение грузооборота остальных портов за последние пять лет, несмотря на общий рост количества обработанных грузов в портах Арктического бассейна [7]. Основу перевозимых через арктические порты грузов в 2019 г. составили сжиженный газ (более 1 млн т), нефть (более 80 тыс. т), контейнеры (30 тыс. т), удобрения (более 20 тыс. т) и нефтепродукты (19 тыс. т) [8].

Порт Варандей, расположенный в Печорском море, является основным нефтеналивным терминалом Арктической зоны, через него проходят нефть из месторождений Ненецкого автономного округа. Данный порт предназначен для перевалки нефти на танкеры для последующего экспорта, а также для перевозки в порты России [9, с. 38]. Для приема и отправки нефти танкерами также задействованы такие крупнейшие порты, как Мурманск, Архангельск и Витино. Для экспорта сжиженного природного газа (СПГ) используется порт Сабетта, расположенный на полуострове Ямал [10, с. 15]. При этом нельзя не отметить, что практически все арктические порты (за исключением Дудинки) требуют реконструкции, ремонта, оснащения новой техникой и выполнения дноуглубительных работ [11, с. 11].

В ходе нефтегазоразведки в Арктической зоне России было открыто множество месторождений, которые по их территориальному расположению можно объединить следующим образом (рисунок): шельф Баренцева моря, включающий 4 нефтяных (Приразломное, Долгинское, Варандейское, Медынское), 3 газовых (Мурманское, Лудловское, Северо-Кильдинское), 3 газоконденсатных (Штокмановское, Поморское, Ледовое) и 1 нефтегазоконденсатное (Северо-Гуляевское) месторождения; акватория Карского моря включает 2 газоконденсатных месторождения (Ленинградское и Русановское); Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция объединяет более 200 месторождений. На шельфе Арктических морей выделяют два района с промышленной газоносностью: Центрально-Баренцевоморский (Лудловское, Ледовое, Штокмановское месторождения) и Южно-Карский (Обско-Тазовская губа).



Российские нефтегазовые месторождения в Арктике

Схему транспортировки нефти при помощи танкеров можно представить следующим образом: нефть выгружается из нефтедобывающих платформ напрямую на танкеры или предварительно перекачивается в морские нефтехранилища для временного хранения. Для морской перевозки нефтепродуктов и других наливных грузов используются танкеры, которые классифицируются в зависимости от тоннажа [12, с. 276].

В настоящее время разведку, разработку месторождений углеводородов, добычу нефти и газа, а также переработку на территории Арктики производят три ведущие отечественные компании: ПАО «Газпром», ПАО «Газпром-нефть» и ПАО НК «Роснефть». За процесс транспортировки сырья отвечают упомянутые ранее судоходные компании. В Мурманске осуществляется перевалка нефти танкерами, в данный порт перевозится нефть из Варандейского терминала (Печорское море), платформы «Приразломная», острова Колгуев, порта «Витино». Нефть перегружается на плавучее нефтяное хранилище «Кола». Нефть, добытая на Обской губе, перевозится танкерами на танкернакопитель «Умба», расположенный вблизи Мурманска. В порту Архангельск осуществляется погрузка нефти в танкеры с берегового терминала. Нефть с месторождений острова Колгуев в Баренцевом море, которую добывают компании «Арктикнефть» и «Арктикморнефтегазразведка», поставляется на экспорт напрямую посредством перевозки на танкерах или через перегрузочный комплекс в Кольском заливе.

Нефть, добытая на платформе «Приразломная», транспортируется круглогодично танкерами, имеющими в носовой части судна погрузочное устройство (шаттл-танкера, челночные танкера) на нефтехранилище в Кольском заливе. Далее осуществляется поставка на экспорт линейными танкерами. Отдельно отметим проект «Варандей», представляющий собой систему добычи и морской транспортировки сырой нефти в районах Тимано-Печорского и других соседних нефтяных месторождений, а также эксплуатацию терминала, расположенного в районе поселка Варандей в Баренцевом море. Стационарный морской ледостойкий отгрузочный причал «Варандей», находящийся в акватории Печорского моря, является основным действующим нефтеналивным терминалом, обслуживающим месторождения на материке и осуществляющим перевалку добытой нефти на танкеры. Оператором проекта является ООО «ЛУКОЙЛ-Транс». Реализация проекта осуществляется в сотрудничестве с ПАО «Совкомфлот». Транспортировка нефти производится тремя арктическими челночными танкерами «Василий Динков», «Тимофей Гуженко» и «Капитан Готский», дедвейтом 70 тыс. т каждый [13].

Анализируя пространственные особенности танкерных перевозок природного газа в Арктической зоне России, необходимо отметить проект «Ямал СПГ». До 2022 г. для проекта страны Западной Европы были приоритетным по объемам отгрузки рынком для поставок СПГ. В 2021 г. ПАО «Газпром» и ПАО «Новатэк» экспортировали со своих заводов около 30 млн т сжиженного газа. Свыше 60% от всего объема экспорта газа приходилось на зарубежную Европу, но после постепенного отказа стран ЕС (с середины 2022 г.) от российских энергоносителей, основными рынками сбыта станут преимущественно Китай, Япония и Индия. Азиатский газовый рынок для России становится заметно более перспективным, с прогнозируемым увеличением импорта. Для перевозки СПГ в рамках проекта «Ямал СПГ» используются специальные суда класса «Ямалмакс», которые представляют собой класс танкеров, предназначенных для перевозки СПГ и обладающих максимальными габаритами, которые позволяют пройти через подходной канал порта Сабетта, расположенного на полуострове Ямал. Головным судном такого класса является танкер-газовоз «Кристоф де Маржери» (ПАО «Совкомфлот»). По мнению автора, наибольший интерес к экспорту газа из России можно прогнозировать в Китае, Японии, Южной Корее, Индии, Таиланде. Необходимо предложить водный «азиатский экспортный маршрут» транспортировки газа, альтернативный действующему «европейскому маршруту» экспорта газовых ресурсов российской Арктики в страны Азиатско-Тихоокеанского региона. Эксплуатация данного маршрута потребует более интенсивного развития СМП, а также активного использования судов высокого ледового класса.

Заключение

Значение морского транспорта в Арктической зоне достаточно весомо, поскольку

в условиях многолетней мерзлоты строительство и обслуживание автомобильных и железных дорог, а также нефтегазопроводов крайне затруднено, а объемы добываемых и транспортируемых российских и иностранных ресурсов постоянно увеличиваются, что делает морской транспорт практически безальтернативным вариантом перевозки грузов в данном регионе. Трансинфраструктура Арктического региона развита недостаточно, основные ее объекты находятся в европейской части России (западнее полуострова Ямал). Наиболее крупные порты, способные принимать и отправлять наливные грузы, также находятся в этой части России (Мурманск, Витино и Архангельск). СМП является ключевым звеном морских перевозок в Арктической зоне, он соединяет порты Северного Ледовитого океана и связывает их с устьями судоходных рек Сибири в единую транспортную систему. Транспортировка нефти и газа с помощью танкеров в Арктическом регионе России отличается рядом преимуществ, по сравнению с транспортировкой посредством трубопроводов. Танкеры арктического класса позволяют добиться более высоких экономических эффектов за счет снижения времени погрузки и выгрузки, а также за счет экономии строительных и эксплуатационных расходов.

На сегодняшний день развитие портов Арктического бассейна происходит статочно интенсивно, чему способствует наращивание добычи нефтеналивных грузов, природного газа и их грузооборот танкерами, с помощью увеличивающегося в количестве ледокольного флота, который позволяет осуществлять круглогодичную эксплуатацию СМП. Между тем развитие СМП в будущем будет невозможно без непосредственного участия государства, разработок федеральных целевых программ, совершенствования и развития судоремонтных предприятий, технического оснащения судов оборудованием, разработанным и произведенным в России.

Список литературы

- 1. Лебедев Г.В. Особенности пространственной организации инфраструктуры морского транспортного комплекса Арктической зоны Российской Федерации: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2014. 20 с.
- 2. Комков Н.И., Селин В.С., Цукерман В.А. Направления модернизации арктической морской транспортной системы // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2014. № 4. С. 4–11.
- 3. Рудаков Ю.А. Повышение качества подготовки и реализации проектов развития нефтяного комплекса. М.: Инфра-М, 2018. 112 с.

- 4. Серова Н.А., Серова В.А. Транспортная инфраструктура российской Арктики: специфика функционирования и перспективы развития // Проблемы прогнозирования. 2021. № 2. С. 142-151.
- 5. Евдокимов Г.П. Арктический транспортный флот // Морская стратегия России и приоритеты развития Арктики. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2012. С. 170–173.
- 6. Кондратов Н.А. Особенности развития транспортной инфраструктуры в Арктической зоне России // Географический вестник. 2017. № 4. С. 68–80.
- 7. Морские вести России. [Электронный ресурс]. URL: http://www.morvesti.ru/news/1680/ (дата обращения: 25.04.2022).
- 8. Стратегия развития морской портовой инфраструктуры России до 2030 г. (одобрена на совещании членов Морской коллегии при Правительстве Российской Федерации). М., 2013. [Электронный ресурс]. URL: https://www.rosmorport.ru/media/File/strategy.pdf (дата обращения: 21.05.2022).
- 9. Кисиленко А.Н., Малащук П.А., Сундуков Е.Ю. Оценка соответствия провозных и пропускных способностей

- транспортных путей Европейского и Приуральского Севера России потребностям Арктической транспортной системы // Проблемы развития территории. 2019. № 3. С. 33–48.
- 10. Арктическая политика России: международные аспекты // доклад НИУ ВШЭ к XXII Апрельской международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества / Рук. авт. кол. С.А. Караганов. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2021. 56 с.
- 11. Грузинов В.М., Зворыкина Ю.В., Иванов Г.В., Сычев Ю.Ф., Тарасова О.В., Филин Б.Н. Арктические транспортные магистрали на суше, акваториях и в воздушном пространстве // Арктика: экология и экономика. 2019. № 1. С. 6–20.
- 12. Кузнецова Е.В., Муллаянова Л.И. Особенности международных морских перевозок нефти и нефтепродуктов // Управление экономикой: методы, модели, технологии: материалы XVI Международной научной конференции. Уфа: УГАТУ, 2016. С. 275–278.
- 13. Проект «Варандей» (Россия). [Электронный ресурс]. URL: https://www.scf-group.com/fleet/business_scope/projects/item421.html (дата обращения: 21.05.2022).

УДК 91:332.1:338.439.68

ТИПИЗАЦИЯ РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ОСОБЕННОСТЯМ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ УРОВНЕЙ

Родоманская С.А.

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского», Амурский филиал, Благовещенск, e-mail: svetlana 1902@mail.ru

В статье представлена методика оценки нарастания угроз по трем важным продовольственным процессам (производство, потребление и распределение) через понятие «продовольственный уровень региона». Рассмотрены понятия абсолютной и относительной продовольственной безопасности. Предложено оценку потенциала территориального нарастания угроз и картографическое выражение продовольственной обеспеченности произвести по цветным кодам опасности Национального стандарта Российской Федерации «Безопасность в чрезвычайных ситуациях», составленного в соответствии с мировой практикой обозначения опасности. По стандарту уровни продовольственной безопасности были выражены цветами ассоциативного смыслового значения: зеленым, салатовым (желто-зеленым), желтым, оранжевым и красным - расположенными в порядке возрастания угроз в регионах страны с возможным принятием соответствующих мер безопасности. Выделены такие уровни опасности, как опасность – красный, потенциальная опасность – желтый и безопасность – зеленый. В качестве особого ориентира в систематизации данных выбран желтый продовольственный уровень, соответствующий относительно самодостаточному типу регионов, как гипотетический уровень, исключающий проблемы чрезмерного дефицита продовольствия и избыточного потребления. Картографическое выражение продовольственной обеспеченности по продовольственным уровням рассмотрено на примере одного из основных продуктов питания для России – зерновых и зернобобовых культур. Синтез значений балансового показателя, объемов производства зерновой продукции, фактических и базовых потребностей населения в регионах позволил проанализировать особенности формирования продовольственных уровней и выполнить типологическое ранжирование регионов. Проведена детализация типологических групп и выявления подтипов с вовлечением в анализ количественных значений балансового показателя в двух вариантах с учетом фактических и базовых объемов потребления. Кратко охарактеризованы выделенные типологические группы.

Ключевые слова: продовольственная обеспеченность, регион, продовольственный уровень, цветные коды опасности, критический уровень, регионы-доноры, регионы-реципиенты

TYPING OF THE REGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION BY THE PECULIARITIES OF FOOD LEVELS

Rodomanskaya S.A.

Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy, Amur branch, Blagoveschensk, e-mail: svetlana_1902@mail.ru

The article presents a methodology for assessing the growth of threats for three important food processes (production, consumption and distribution) through the concept of "food level of the region". The concepts of absolute and relative food security are considered. It is proposed to assess the potential of the territorial increase in threats and cartographic expression of food security to produce according to the color codes of the danger of the National Standard of the Russian Federation "Safety in Emergencies", compiled in accordance with the world practice of designating danger. According to the standard, food security levels were expressed in colors of associative semantic meaning - green, light green (yellow-green), yellow, orange and red, arranged in order of increasing threats in the regions of the country with the possible adoption of appropriate security measures. There are such levels of danger as danger – red, potential danger – yellow and safety – green. As a special guideline in the systematization of data, the yellow food level corresponding to the relatively self-sufficient type of regions was chosen as a hypothetical level that excludes the problems of excessive food shortages and excess consumption. The cartographic expression of food security by food levels is considered on the example of one of the main food products for Russia - grains and leguminous crops. The synthesis of the values of the balance indicator, the volume of grain production, the actual and basic needs of the population in the regions made it possible to analyze the features of the formation of food levels and perform a typological ranking of the regions. The specification of typological groups and identification of subtypes was carried out with the involvement in the analysis of the quantitative values of the balance indicator in two versions, taking into account the actual and basic volumes of consumption. The identified typological groups are briefly characterized.

Keywords: food security, region, food level, colored hazard codes, critical level, donor regions, recipient regions

Одной из актуальных проблем в области обеспечения продовольственной безопасности является проблема повышения продовольственной обеспеченности регионов. В новых экономических условиях перехода к децентрализованной системе управления продовольственными ресурсами понятие продовольственной обеспечен-

ности трансформируется в понятие продовольственной самодостаточности, что предполагает достижение продовольственного обеспечения в первую очередь за счет собственных сил [1, 2].

Оценку нарастания угроз и картографическое выражение продовольственной обеспеченности основными продуктами пита-

ния предлагается произвести по цветным кодам опасности Национального стандарта Российской Федерации «Безопасность в чрезвычайных ситуациях», составленного в соответствии с мировой практикой обозначения опасности [3]. Адаптация данного руководства в области обеспечения продовольственной безопасности возможна с учетом рассмотрения продовольственной безопасности как территориально-отраслевого аспекта государственной продовольственной политики, отражающего социальные, экономические и организационные меры, направленные на развитие продовольственного потенциала для производконкурентоспособных продуктов питания с учетом особенностей развития и ресурсной базы территории. Применение цветовых кодов опасности предусматривает во избежание разночтений информировать население об изменении уровня опасности вне зависимости от масштаба и характера их возникновения.

Цель исследования — разработка типологического инструментария и с его помощью типизация регионов Российской Федерации по продовольственным уровням.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования выступают продовольственные процессы субъектов $P\Phi$ – производство, распределение, потребление.

Территориальная дифференциация продовольственной безопасности Российской Федерации проведена на основе введенного балансового показателя обеспеченности регионов продовольствием, определяющегося как степень оптимальности (сбалансированности) производящихся и потребляемых объемов продовольствия в более обобщенном их понимании. Балансовый показатель рассматривался на уровне положительного, нулевого и отрицательного значений, позволяя разделить регионы на доноры, относительно самодостаточные и реципиенты.

Для оценки проблем сбалансированности производящегося и потребляемого продовольствия через распределение было введено понятие «продовольственного уровня в регионе», позволяющего оценить потенциал территориального нарастания угроз в триаде «производство — распределение — потребление». По Национальному Стандарту Российской Федерации «Безопасность в чрезвычайных ситуациях» уровни продовольственной безопасности выражены цветами ассоциативного смыслового зна-

чения — зеленый, салатовый (желто-зеленый), желтый, оранжевый и красный. Цвета расположены в порядке возрастания угроз в регионах страны с возможным принятием соответствующих мер безопасности.

Продовольственные уровни по цветовым кодам опасности соответствуют стадиям реальных и гипотетических изменений для регионов, которые они имеют или могут проходить в зависимости от изменения показателей производства, потребления и распределения. На продовольственном уровне угрозы региону могут возникать в каждом из трех направлений. В качестве особого ориентира в систематизации данных выбран желтый продовольственный уровень, соответствующий относительно самодостаточному типу регионов, как гипотетический уровень, исключающий проблемы чрезмерного дефицита продовольствия и избыточного потребления. Промежуточное значение данного уровня между донорами и реципиентами, как имеющего равные объемы производящегося и потребляемого продовольствия с равными его запасами, предупреждает о возможном возникновении угроз и подготовке к принятию соответствующих мер безопасности.

На продовольственных уровнях для выделения подтипов регионов в анализ вовлечены количественные значения балансового показателя в двух вариантах с учетом фактических и базовых объемов потребления продуктов питания. Фактические объемы потребления формируют фактический уровень продовольственной обеспеченности, а рациональные нормы потребления основных продуктов питания, рекомендованные РАМН и утвержденные Министерством здравоохранения РФ, позволяют оценить качественную сторону насыщенности рынка продовольствием и его потенциальную емкость [4]. В первом случае балансовый показатель был назван фактическим, а во втором – базовым. Сравнение рассчитанных значений двух продовольственных балансов по каждому уровню продовольственной безопасности позволяет, например, выделить подтипы регионов с избыточным потреблением как потребляющие или, наоборот, подтипы сбалансированного потребления как производящие.

Для представленных продовольственных уровней по цветам опасности с соответствующими им количественными значениями продовольственного баланса стоит различать абсолютную и относительную продовольственную безопасность региона.

Основные характеристики типов и подтипов регионов по особенностям продовольственного уровня

Тип ПБ	Тип*	Значение ПБ*	Цвет опасности	Сравнение базового и фактического ПБ*	Подтипы	Темпы роста + (снижения –) производства потребления	Роль региона в межрегиональной торговле
			Зеленый	$\Phi > P$ $P = \Phi$ $P > \Phi$		> 100 % производства	производящие вывозящие
отная	Абсолютная Д > 0		Φ > P P > Φ	I	-10 %	производящие	
 Eloo			Салатовый	$P = \Phi$	II	+10 %	производящие
Α6α				Р < Ф	III		потребляющие
	OC	= 0	Желтый	$P = \Phi$		\frac{-10 \%}{+10 \%}	производящие
ая				Р>Ф	I	10.0/	производящий
ПБН			Оранжевый	$P = \Phi$	II	$\frac{-10 \%}{+10 \%}$	потребляющий
ите	Относительная О > 0	< 0		Р < Ф	III	+10 70	потребляющий
Относ		Красный		$P < \Phi$ $P = \Phi$ $P > \Phi$		\frac{-10 \%}{+10 \%}	потребляющий

^{*}Тип территории по показателю продовольственного баланса (Д – донор; ОС – относительно самодостаточные; P – реципиент); ΠB – продовольственная безопасность; ΠB – продовольственный баланс.

Под абсолютной продовольственной безопасностью понимается состояние продовольственной обеспеченности для регионов положительного/нулевого баланса, которое позволяет обеспечить другие регионы продовольствием за счет перераспределения в случае полной самодостаточности страны. При переходе региона из красного уровня на более высокий продовольственный уровень за счет перераспределения, продовольственная безопасность начинает приобретать свою относительность. В этом случае продовольственная безопасность понимается как относительная, и есть такое состояние для регионов-реципиентов, при котором обеспечение продовольствием происходит за счет резервов других регионов в случае продовольственной самодостаточности страны в целом.

Обобщение всех проанализированных показателей по особенностям сбалансированности производящихся и потребляемых объемов продовольствия позволяет сформировать для регионов два основных типа продовольственной безопасности, три основных типа регионов по продовольствен-

ному балансу с пятью уровнями опасности и девятью их подтипами (таблица).

Результаты исследования и их обсуждение

По зерновым Россия в целом сводит положительный продовольственный баланс с профицитом продукции, перекрывающим потребности российского населения в 5,5 раза.

По результатам исследований на территории России по продовольственной обеспеченности зерновыми выделяются четыре продовольственных уровня по двум основным типам регионов – доноров и реципиентов. Абсолютная продовольственная безопасность зерновых культур на территории страны представлена основным типом регионов, имеющих положительный баланс, – регионы-доноры (рисунок) Она характерна для 74 регионов РФ из 86. На их территорию приходится более 97% российского производства зерна с общими объемами производства в 131,4 млн т из 135,5 [5, 6].

По продовольственным уровням обеспеченность зерновыми складывается следующим образом.



Уровни продовольственной обеспеченности зерновыми и зернобобовыми культурами регионов РФ (составлено автором)

На зеленом продовольственном уровне достаточно высокой продовольственной обеспеченности находятся крупнейшие производители из числа регионов-доноров с высокими показателями объемов производства зерна и доли участия в межрегиональной системе распределения (0,98) - Краснодарский край (12% от общероссийского объема производства), Ростовская область (10,4%), Ставропольский край (9,8%). Их общие объемы производства составляют третью часть общероссийского производства -37,8 млн т (28%). Для России эти регионы выступают гарантами по производству зерновых с ярко выраженной экспортной ориентацией. В целом для них характерна высокая зависимость между показателями производственных мощностей, с одной стороны, и объемами экспорта и возможности оказания продовольственной помощи другим регионам – с другой. Также для этих регионов характерны достаточно высокие показатели потребления зерновой продук-

ции, превышающего базовые потребности (104 кг на человек) в 2–3 раза.

Регионы салатового уровня имеют стабильную продовольственную обеспеченность зерновыми и занимают большую часть страны с общим объемом производства 93,6 млн т — 69% от общероссийского производства. На этом уровне находятся регионы как с крупными объемами производства зерновых — производящие, так и регионы, у которых фактические потребности превышают базовые — потребляющие.

При детализации типологической группы регионов-доноров салатового уровня, имеющих показатели производства на 10% меньше по сравнению с зеленым уровнем, выделяются три подтипа. Подтип ДІ объединяет регионы, преимущественно имеющих большие возможности быть в числе гарантов по производству зерна в стране, такие как Саратовская область, Воронежская область, Волгоградская область, Курская область, Алтайский край, Республика

Татарстан, Оренбургская область, Тамбовская область. Эти восемь регионов имеют 4% от общероссийского объема производства и удовлетворяют базовые потребности по зерну с возможностью вывоза зерна, в значительном объеме относительно производимого ими, но в меньшем масштабе регионов зеленого уровня. Производственные мощности регионов подтипа ДІ превышают базовые и фактические потребности в 2-4 раза. Наиболее характерный процесс в регионах этого подтипа - увеличение фактического потребления дифференцирующей зерновой продукцией за счет уменьшения абсолютных объемов базового потребления. Кроме того, Саратовская область, Оренбургская область и Республика Татарстан в Приволжском федеральном округе, а также Воронежская область, Тамбовская область и Курская область в Центральном федеральном округе составляют набольший удельный вес по обеспеченности зерновыми в 49-47% от общеокружных объемов производства зерна соответственно.

Регионы подтипа ДІ, вывозящие и активно участвующие в межрегиональном распределении с общей долей участия — 0,94—0,77, резко отличаются от двух других подтипов данного продовольственного уровня. К наиболее крупным вывозящим регионам данного подтипа относятся Саратовская, Волгоградская, Воронежская и Курская области с удельным весом 54, 41, 40 и 25% от общеокружных объемов вывоза соответственно.

Стоит отметить, что среди доноров для регионов Южного, Приволжского и Центрального федеральных округов одной из причин высокого производственного показателя зерна является их зерновая специализация с общей долей зерновых в 70–80% и высокой отдачей урожайности на возделываемую площадь. По производству зерновых регионы подтипа Д и ДІ объединяют преимущественно преобладающие обширные сельскохозяйственные угодья и достаточно высокоразвитое аграрное производство.

Обширный по составу (40 регионов) подтип *ДІІ* объединяет регионы-доноры со средними объемами производства, удовлетворяющие базовые и фактические потребности населения регионов зерном. Для этих регионов характерно 3–1,5% общероссийского производства зерна с общими объемами производства в пределах 4,2–2 млн т. Данные регионы имеют возможность вывоза зерновой продукции с удельным весом 32–11%. В этом подтипе большие объемы вывоза (2,2–1,1 млн т) с наибольшей до-

лей участия в межрегиональной системе распределения характерны для Орловской, Тамбовской, Омской и Липецкой областей. К подтипу ДІІІ относятся регионы, имеющие объемы производства менее 0,15 млн т, что составляет приблизительно 1% от общероссийского производства зерна. Подтип ДІІІ, состоящий из 12 регионов (Хабаровский край, ЕАО, Забайкальский край, Республика Хакасия, Мурманская область, Новгородская область, Тверская область, Владимирская область, Костромская область, Астраханская область, Республика Ингушетия), потребляет сверх базовых потребностей и не принимает участия в межрегиональном распределении.

Относительная продовольственная безопасность для зерновых представлена типом реципиентов двумя продовольственными уровнями — оранжевым и красным.

На оранжевом уровне наблюдается напряженное продовольственное обеспечение зерновыми для трех регионов: Псковской области, Республики Бурятия и Калининградской области. Данные регионы имеют малые производственные мощности по зерну, что составляет менее 0,05% от общероссийского производства. Малым объемам производства зерновым на данном уровне соответствует большая зависимость от ввоза зерновой продукции. Уровень потребления зерновых в регионах на данном уровне меньше нормативного потребления и составляет менее 60 кг на человека против нормативных 104 кг. Однако стоит отметить, что для Калининградской области, несмотря на напряженную продовольственную обеспеченность зерновыми, отмечен ввоз и вывоз зерновых с объемами, превышающими объемы производства примерно в 6 раз, как имеющей на своей территории перерабатывающие организации зерновых культур.

Красный уровень представляет крупнейших реципиентов (11 регионов), таких как Республика Саха (Якутия), Магаданская область, Чукотский автономный округ, Камчатский край, Сахалинская область, Республика Тыва, Республика Алтай, Вологодская область, Республика Коми, Архангельская область, Республика Карелия. К ним относятся северные районы России, представляя для неё в полном смысле периферию с точки зрения продовольственной обеспеченности зерновыми. Для всех этих регионов характерна критическая обеспеченность зерновыми на фоне отсутствующих производственных мощностей или незначительных практически близких к нулю объемов производства зерновых без возможностей удовлетворения базовых потребностей населения в этих регионах.

Хотя относительная продовольственная безопасность зерновыми для рассматриваемых продовольственных уровней — оранжевого и красного — и относится к реципиентам, но поскольку страна в целом сводит положительный баланс, то решение проблемы продовольственного дефицита зерновыми в них возможно за счет межрегионального распределения.

Для регионов-реципиентов оранжевого и красного уровней базовые потребности зерновыми в зависимости от численности населения составляют в целом 508,19 тыс. т, из них оранжевый уровень – 355,4 тыс. т, красный – 152,79 тыс. т. В разрезе по округам и продовольственным уровням фактические и базовые потребности регионов-реципиентов представлены в таблице. За счет регионов-доноров потребности зерновых полностью перекрывают потребности в регионах-реципиентах в целом по стране и по округам. Так, например, дальневосточные регионы-доноры перекрывают потребности дальневосточного населения в 2,5 раза. Наиболее крупными дальневосточными донорами являются Амурская область, Приморский край, Еврейская автономная область. В Сибирском федеральном округе фактические и базовые потребности аналогично перекрываются за счет регионов-доноров в 3,7 раза с крупно выделяемыми донорами для округа: Омская область, Новосибирская область и Алтайский край. При наличии реципиентов в Северо-Западном федеральном округе потребности перекрываются регионами-донорами в 1,8 раза.

Заключение

В заключение стоит отметить, что в рамках данных исследований предложен новый подход анализа продовольственной обеспеченности по основным продуктам питания (на примере зерновых и зернобобовых культур) в регионах РФ с позиций понятия «продовольственного уровня», позволяющего отразить реальные и гипотетические изменения показателей по трем основным направлениям: производство, распределение и потребление. Выделение продовольственных уровней по цветным кодам опасности позволяет, во-первых, географически интерпретировать типологическое ранжирование регионов продовольственной обеспеченности с учетом потенциала нарастания угроз в триаде «производство – распределение – потребление»; а во-вторых, определить на территории страны производящие регионы, которые выступают «продовольственными плацдармами», – регионы-доноры и потребляющие регионы повышенного внимания – регионы-реципиенты.

Кроме того, опираясь на представление о типологии как отображении системы в её развитии, представляется возможным проследить направление перехода регионов из одного уровня в другой. Полагая при этом, что переход региона на более высокий продовольственный уровень возможен за счет внутреннего перераспределения продовольствия в случае положительного/ нулевого баланса по стране или в противном случае за счет оказания национальной помощи регионам. В таких случаях регион, имеющий увеличение поступающего продовольствия со стороны других регионов или национальной продовольственной помощи, приобретает свою относительность. Наряду с этим предлагается различать абсолютную и относительную продовольственную безопасность.

Впрочем, при выявленном разнообразии вариантов продовольственных уровней по регионам задача их систематизации на сегодняшний день становится актуальной как никогда. При поиске путей решений продовольственной проблемы и путей сглаживания межрегиональных различий типизация регионов современной продовольственной обеспеченности может стать серьезным информационным обоснованием.

Список литературы

- 1. Ермолина Н.А. Роль самодостаточности аграрных территорий в обеспечении продовольственной безопасности страны и регионов // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. № 25. URL: https://cyberleninks.ru/article/n/rol-samodostatochnosti-agrarnyh-territoriy-v-obespechenii-prodovolstvennoy-bezopasnosti-strany-i-regionov (дата обращения: 27.07.2022).
- 2. Чупина И.П., Безносов Г.А. Продовольственная безопасность региона // Экономика, финансы и менеджмент: тенденции и перспективы развития: сб. науч. трудов по итогам международной научно-практической конференции. Волгоград. № 2. 2015. 316 с.
- 3. ГОСТ Р 22.3.13- 2018 (ИСО 22324:2015) Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Руководство по цветовым кодам опасности / ГОСТ Р от 15 мая 2018 г. № 22.3.13-2018.
- 4. Мансуров Р.Е. Методика рейтинговой оценки продовольственной самообеспеченности районов Волгоградской области как элемент системы регионального управления АПК // Вестник ВолГУ. Серия 3: Экономика. Экология. 2017. № 1 (38). С. 52–61.
- 5. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru (дата обращения: 27.07.2022).
- 6. Сайт Министерства правительства по развитию Дальнего Востока и Арктики. [Электронный ресурс]. URL:https://minvr.gov.ru (дата обращения: 27.07.2022).

УДК 911.3

ТИПОЛОГИЯ СУБЪЕКТОВ И ГЕОСТРАТЕГИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ ПО ДИНАМИКЕ ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ЗА МЕЖПЕРЕПИСНЫЕ ПЕРИОДЫ

Фаронова Ю.В.

ФГБОУВО «Башкирский государственный университет», Уфа, e-mail: faronova2012@mail.ru

Предложена типология субъектов РФ по динамике численности населения за межпереписные периоды. Основные выводы о территориальных проявлениях положения субъектов РФ в демографическом пространстве страны представлены в виде типологии субъектов страны по тенденциям динамики численности населения $P\Phi$ на основе переписей населения за 1989, 2002, 2010, 2021 гг. Территориальный состав макрорегионов РФ определён в Стратегии пространственного развития РФ на период до 2025 г., в которой указана задача «обеспечения национальной безопасности РФ за счет социально-экономического развития геостратегических территорий РФ». Северо-Кавказский макрорегион выгодно отличается абсолютным наличием субъектов с благоприятным демографическим положением. Дальневосточный макрорегион не имеет ни одного субъекта с благоприятным демографическим положением. Наиболее привлекательные для населения макрорегионы страны Европейской части РФ с точки зрения климата, транспортно-магистрального каркаса, каркаса городов, промышленного и сельскохозяйственного освоения отличаются преобладанием проблемно-демографических субъектов РФ. Преобладающее количество муниципальных образований такого региона, как «части субъектов РФ в составе Арктической зоны», включены в зону сокращения населения с 2012 г. к 2021 г. Регион отличается выраженностью структуры городского населения по численности населения, опорный каркас городов состоит из 8 городских образований. Общая численность населения всех субъектов (21) в составе региона «приграничные геостратегические территории РФ» сократилась с 45 млн чел. в 1989 г. до 43,7 млн чел. в 2021 г.; к 1 и 2 типам с благоприятным демографическим положением отнесены 7 субъектов.

Ключевые слова: типология субъектов, Стратегия пространственного развития РФ, макрорегионы, геостратегические территории, географический каркас, интегральный рейтинг

TYPOLOGY OF SUBJECTS AND GEOSTRATEGIC TERRITORIES OF RUSSIA BY POPULATION DYNAMICS FOR INTERCENSUS PERIODS

Faronova Yu.V.

Bashkir State University, Ufa, e-mail: faronova2012@mail.ru

A typology of subjects of the Russian Federation according to the population dynamics for intercensal periods is proposed. The main conclusions about the territorial manifestations of the position of the subjects of Russia in the demographic space of the country are presented in the form of a typology of the subjects of the country according to the trends in the dynamics of the population based on population censuses for 1989, 2002, 2010, 2021. The territorial composition of macro-regions of the Russian Federation is defined in the Strategy for Spatial Development of the Russian Federation for the period up to 2025, which specifies the task of "ensuring the national security of Russia through the socio-economic development of the geostrategic territories of the Russian Federation.» The North Caucasian macroregion compares favorably with the absolute presence of subjects with a favorable demographic situation. The Far Eastern macroregion does not have a single subject with a favorable demographic situation. The macro-regions of the country of the European part of Russia that are most attractive for the population are distinguished by the predominance of problem-demographic subjects of Russia. The predominant number of municipalities in such a region as "parts of the constituent entities of the Russian Federation as part of the Arctic zone» are included in the zone of population reduction from 2012 to 2021. The region is distinguished by the pronounced structure of the urban population in terms of population, the supporting framework of cities consists of 8 urban formations (cities and urban districts).

Keywords: typology of subjects, Strategy for Spatial Development of the Russian Federation, macroregions, geostrategic territories, geographic framework, integral rating

Численность населения страны актуальна для международных рейтинговых позиций, Россия относится к «аутсайдерам демографического развития» [1, с. 11]. Российская северная территория относится к важнейшим геополитическим регионам мира [2, с. 1]. Динамика численности населения РФ формируется под влиянием демографических, экономических, социальных факторов [3, с. 1]. В объяснении демографических процессов РФ и приграничных стран применяется концепция поляризации [4, с. 53]. Для анализа проблем демографи-

ческого развития муниципальных образований используется центро-периферическая модель [5, с. 104]. Высокая социально-экономическая оценка плотности населения характерна для субъектов с низкой плотностью населения в Уральском, Сибирском, Дальневосточном регионах страны [6, с. 91].

Исследовательская задача заключается в типологии субъектов РФ по динамике численности населения за межпереписные периоды для определения территориальных проявлений положения субъектов РФ в демографическом пространстве страны на ос-

нове тенденций динамики численности населения по итогам переписей населения за 1989, 2002, 2010, 2021 гг.

Материалы и методы исследования

работа Автором была проведена по определению типов субъектов страны по динамике численности населения. Рассчитаны темпы прироста численности населения каждого субъекта за межпереписные периоды (1989–2002 гг., 2002–2010 гг., 2010–2021 гг.). За каждый период был определён рейтинг субъектов по показателю темпа прироста населения (соответственно рейтинг 1, рейтинг 2, рейтинг 3). На основе данных рейтингов был определён интегральный рейтинг каждого субъекта как среднее арифметическое рейтингов 1-3. Типы субъектов по демографическому положению сформированы на основе матрицы двух показателей - темпа прироста численности населения за 1989-2021 гг. и интегрального рейтинга (ИР): тип 1 (зона позитивного демографического положения) – субъекты с ростом численности населения за 1989–2021 гг., субъекты – лидеры роста населения; тип 2 (зона благоприятного демографического положения) – субъекты с ростом численности населения за 1989–2021 гг., растущие по численности населения субъекты; тип 3 (зона крайне негативного демографического положения) — субъекты с сокращением численности населения за 1989–2021 гг., субъекты — лидеры по сокращению численности населения; тип 4 (зона негативного демографического положения) — субъекты с сокращением численности населения за 1989–2021 гг., субъекты со срединным положением по сокращению населения; тип 5 (зона неблагоприятного демографического положения) — субъекты с сокращением численности населения за 1989–2021 гг., субъекты на периферии сокращения населения.

Результаты исследования и их обсуждение

Основные выводы о территориальных проявлениях положения субъектов РФ в демографическом пространстве страны представлены в виде типологии субъектов страны по тенденциям динамики численности населения РФ на основе переписей населения за 1989, 2002, 2010, 2021 гг. (табл. 1). Всего указано 83 субъекта РФ, без Республики Крым и г. Севастополя, по которым данные о численности населения представлены Росстатом начиная с 2014 г.

 Типология субъектов страны по тенденциям динамики численности населения РФ за межпереписные периоды

ИР 1-10	ИР 11-25	ИР 1-20	ИР 21-40	ИР 41-58			
Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4	Тип 5			
численност	Субъекты РФ с ростом численности населения за 1989–2021 гг. Всего 25 субъектов		Субъекты РФ с сокращением численности населения за 1989–2021 гг. Всего 58 субъектов				
Чечня,	Белгородская об-	Магаданская область,	области:	Омская область,			
г. Москва,	ласть,	Коми,	Орловская,	Чувашия,			
Дагестан,	Карачаево-Чер-	Мурманская область,	Брянская,	Ненецкий АО,			
Ханты-Мансий-	кессия,	Архангельская	Тульская,	Удмуртия,			
ский	Калининградская	область без АО,	Курская,	Саратовская			
АО – Югра,	область,	Камчатский край,	Хабаровский край,	область,			
Краснодарский	Татарстан,	области:	Мордовия,	Марий Эл,			
край,	Адыгея,	Кировская,	Алтайский край,	Свердловская			
Московская	Томская область,	Псковская;	Пермский край,	область,			
область,	Тыва,	Карелия,	Ярославская	Республика Саха			
Ставропольский	Кабардино- Бал-	Еврейская АО,	область,	(Якутия),			
край,	кария,	области:	Рязанская область,	Липецкая область,			
Ленинградская	г. Санкт-	Ивановская,	Приморский край,	Красноярский край,			
область,	Петербург, Яма-	Курганская,	области:	Воронежская			
Тюменская	ло-Ненецкий АО,	Сахалинская,	Владимирская,	область,			
область без АО,	Башкортостан,	Костромская,	Кемеровская,	Хакасия,			
Республика	Северная Осе-	Тверская,	Калмыкия,	Волгоградская об-			
Алтай	тия – Алания,	Тамбовская,	области:	ласть,			
	области:	Амурская;	Нижегородская,	Бурятия,			
	Калужская,	Чукотский АО,	Ульяновская,	области:			
	Новосибирская,	Новгородская об-	Пензенская,	Челябинская,			
	Ингушетия	ласть,	Оренбургская,	Астраханская,			
		Смоленская область,	Иркутская,	Ростовская,			
		Забайкальский край	Вологодская	Самарская			

 Таблица 2

 Группировка субъектов РФ по типам динамики численности населения на уровне макрорегионов РФ

Макрорегион		определён	ектов данн ным типо ности нас	м динамиі		Всего субъектов в составе
	тип 1	тип 2	тип 3	тип 4	тип 5	макрорегиона
1. Центральный	2	1	4	6	_	13
2. Центрально-Черноземный	_	1	1	1	2	5
3. Северо-Западный	1	2	4	1	_	8
4. Северный	_	_	2	_	1	3
5. Южный	1	1	_	1	3	6
6. Северо-Кавказский	3	4	_	_	_	7
7. Волго-Камский	_	1	1	3	3	8
8. Волго-Уральский	_	1	_	3	2	6
9. Уральско-Сибирский	2	1	1	_	2	6
10. Южно-Сибирский	1	2	_	3	_	6
11. Ангаро-Енисейский	_	1	_	1	2	4
12. Дальневосточный	_	_	7	3	1	11
	10	15	20	22	16	83

На основе данной типологии были определены противоположные по тенденциям динамики численности населения субъекты РФ: 1) 25 субъектов страны с ростом численности населения за 1989–2021 гг. (тип 1 и тип 2); 2) 58 субъектов страны с сокращением численности населения за 1989-2021 гг. (типы 3-5). Далее представлен результат проблемного анализа макрорегионов (МР) РФ по типам динамики населения (табл. 2). Территориальный состав МР определён в Стратегии пространственного развития РФ на период до 2025 г., в которой указана задача «обеспечения национальной безопасности РФ за счет социально-экономического развития стратегических территорий РФ», а также необходимость «обеспечения устойчивого прироста численности постоянного населения» в субъектах на территории Дальнего Востока [7, с. 8, 9, приложение № 2].

Основные закономерности: 1) Северо-Кавказский МР выгодно отличается абсолютным наличием субъектов с благоприятным демографическим положением (типы 1 и 2); 2) Дальневосточный МР не имеет ни одного субъекта с благоприятным демографическим положением, доминирует «красная зона» субъектов страны с крайне негативным демографическим положением (7 из 20 субъектов РФ). Отсутствуют «благоприятные» субъекты также в Северном МР; 3) наиболее привлекательные для населения макрорегионы страны Европейской части РФ с точки зрения климата, транспортно-магистрального каркаса, каркаса городов, промышленного и сельскохозяйственного освоения отличаются преобладанием проблемно-демографических субъектов РФ (Центральный, Центрально-Чернозёмный, Северо-Западный, Волго-Камский Географический каркас субъектов с благоприятным демографическим положением сформирован Москвой и Московской областью, Калужской областью в Центральном МР, Белгородской областью в Центрально-Чернозёмном МР, Санкт-Петербургом и Ленинградской областью, Калининградской областью в Северо-Западном МР, Краснодарским краем и Республикой Адыгея в Южном МР, Чеченской Республикой, Республикой Дагестан, Ставропольским кра-Карачаево-Черкесской Республикой, Кабардино-Балкарской Республикой, Республикой Северная Осетия – Алания, Республикой Ингушетия в Северо-Кавказском МР, Республикой Татарстан в Волго-Камском МР, Республикой Башкортостан в Волго-Уральском МР, ХМАО, Тюменской областью без АО, ЯНАО в Уральско-Сибирском МР, Республикой Алтай, Томской областью, Новосибирской областью в Южно-Сибирском МР, Республикой Тыва в Ангаро-Енисейском МР.

1 руппировка суоъектов РФ по численности	населения с	1989 г. к 202	1 Г.
Группы субъектов РФ по численности населения	1989	20211	20212
Группа 1. Более 5 млн чел.	2	4	4
Группа 2. 3–5 млн чел.	12	8	8
Группа 3. 1–3 млн чел.	45	37	38
Группа 4. 0,5–1 млн чел.	13	23	24
Группа 5. 0,1–0,5 млн чел.	10	9	9
Группа 6. менее 0,1 млн чел.	1	2	2

Таблица 3 Группировка субъектов РФ по численности населения с 1989 г. к 2021 г.

П р и м е ч а н и е . 2021^1 — без Республики Крым и г. Севастополя; 2021^2 — с Республикой Крым и г. Севастополем

Выводы о распределении субъектов РФ по людности были сделаны на основе расчёта количества субъектов РФ за 1989 и 2021 гг. по группам с разной численностью населения (табл. 3).

Выводы о территориальной структуре и причинах динамики количества субъектов в каждой группе субъектов РФ по численности населения следующие.

Группа 1 состоит из субъектов: Москва и Московская область, Краснодарский край, Санкт-Петербург.

Группа 2 примечательна субъектами с ростом численности населения с 1989 г. к 2021 г.: Дагестан – прирост 76%, рост на-

селения с 1,8 млн чел. до 3,18 млн чел.; Татарстан (+ 10%), Башкортостан (+ 3,8%); оба субъекта вошли в группу с населением более 4 млн чел. в 2021 г. Вышли Краснодарский край и Санкт-Петербург с населением более 5 млн чел. к 2021 г. с переходом в группу 1.

83

83

Группа 3. Типологически представлены субъекты с разнонаправленными тенденциями изменения численности населения. Наиболее проблемные — это субъекты РФ с сокращением численности населения, которые потеряли статусы субъектов страны с трехмиллионным населением, с двухмиллионным населением, с миллионным населением (рис. 1).

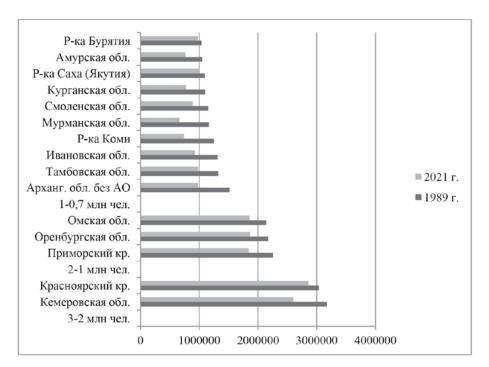


Рис. 1. Субъекты РФ из группы 3 с сокращением численности населения κ 2021 г. по сравнению с 1989 г.

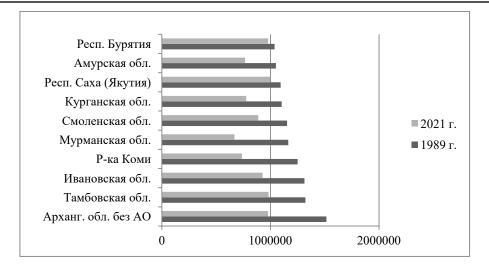


Рис. 2. Субъекты РФ с потерей статуса миллионного населения с 1989 г. к 2021 г.

Противоположная тенденция роста населения отмечена в субъектах нефтегазового профиля, таких как ХМАО (+ 33 %), Тюменская область без АО (+21%), Томская область (+6%), в субъектах европейской части страны, таких как Ленинградская область (приграничная геостратегическая территория на границе со странами Евросоюза, +21%, численность превысила 2 млн чел.), Калининградская область (+18%, рост населения с 871 тыс. чел. до 1030 тыс. чел.), Белгородская область (+12%), также в Чеченской республике (при точке отсчета численности населения за 1995 г. прирост населения составил 65% с 916 тыс. чел. до 1,5 млн чел.).

Группа 4. Субъекты с негативным демографическим развитием в виде сокращения численности населения, которое привело к потере статуса субъектов страны с миллионным населением (рис. 2).

Субъекты данной группы лидировали по темпам сокращения населения за 1989-2021 гг. – это Мурманская область (-43 %), Коми (-41%), Архангельская область без АО (-35%), Карелия (-32%), Курганская, Ивановская, Псковская, Костромская, Амурская, Тамбовская, Смоленская, Новгородская, Орловская области, Мордовия (от -29% до -19%). В этой группе представлены субъекты – лидеры страны по росту численности населения (Ингушетия, +70%, с 1,8 млн чел. в 1995 г. до 5,1 млн чел. в 2021 г.), Кабардино-Балкарская Республика (+20%), Северная Осетия (+8,6%).

Группа 5. Субъекты – лидеры по сокращению населения в данной группе – это Магаданская область (-65%), Камчатский

край (-38%), Сахалинская область (-34%), Еврейская АО (-29%), Калмыкия (-17%). Субъекты с ростом населения в данной группе — это Адыгея (+15%), Карачаево-Черкессия (+13%), Республика Алтай (+11%), Тыва (+9%).

Группа 6. Два субъекта страны в данной группе: Чукотский АО, в котором население сократилось на 71%-c 163 тыс. чел. до 47 тыс. чел., и Ненецкий АО, с сокращением населения на 24%-c 54 тыс. чел. до 41 тыс. чел.

Выводы о демографическом положении приоритетных геостратегических территорий РФ (табл. 4) следующие. Калининградская область, а также расположенные на Северном Кавказе субъекты РФ отнесены к типам субъектов с благоприятным демографическим положением (типы 1 и 2). Расположенные на Дальнем Востоке субъекты РФ отнесены к «красной зоне» (тип 3, это 7 из 11 субъектов), а также к типам 4 и 5 с негативным и неблагоприятным демографическим положением (по 2 субъекта). Из четырех субъектов страны в составе Арктической зоны РФ только ЯНАО отнесён к типу 2 с благоприятным демографическим положением; Ненецкий АО отнесён к типу с неблагоприятным демографическим положением; Чукотский АО и Мурманская область вошли в «красную зону» демографического неблагополучия.

Выводы о демографическом положении такого региона, как «части субъектов РФ в составе Арктической зоны» (табл. 5; перечень в соответствии с [9]; численность по данным [10]).

Таблица 4

Типы приоритетных геостратегических территорий РФ по демографическому положению (перечень в соответствии с [7, приложение № 4], численность по данным [8])

П			аселения							
Перечень субъектов	1989 г.	2002 г.	2010 г.	2021 г.	1989– 2002 гг.	2002-	юсти, % 2010– 2021 гг.	1989–	Тип	
Субъекты Российско	ой Федер	ации, хар	актеризу	ующиеся	эксклаг	вным по.	ложение	M		
Республика Крым 1884,4 ¹ 1898,9 0,8										
Город федерального значения Севастополь			393,32	522,0			32,7			
Калининградская область	871,1	955,2	941,8	1030,0	9,7	-1,4	9,4	18,2	2	
	871,1	955,2	3219,6	3451,0			7,2			
Субъекты Российско	ой Федер	ации, рас	сположен	ные на (Северно	м Кавказ	зе			
Республика Северная Осетия – Алания	632,4	710,2	712,9	687,0	12,3	0,4	-3,6	8,6	2	
Карачаево-Черкесская Республика	414,9	439,4	477,8	470,0	5,9	8,7	-1,6	13,3	2	
Кабардино-Балкарская Республика	753,5	901,4	859,9	904,0	19,6	-4,6	5,1	20,0	2	
Ставропольский край	2410,3	2735,1	2786,2	2908,0	13,5	1,9	4,4	20,6	1	
Чеченская Республика	916,5	1103,6	1268,9	1511,0	20,4	15,0	19,1	64,9	1	
Республика Ингушетия	299,0	467,2	412,5	510,0	56,3	-11,7	23,6	70,6	2	
Республика Дагестан	1802,1	2576,5	2910,2	3182,0	43,0	13,0	9,3	76,6	1	
	7229,0	8934,0	9429,0	10172,0	23,6	5,5	7,9	40,7		
Субъекты Ро	ссийскої	й Федера	ции, рас	положен	ные на Д	Т альнем	Восток	2		
Чукотский АО	163,9	53,8	50,5	47,0	-67,2	-6,1	-7,0	-71,3	3	
Магаданская область	391,6	182,7	156,9	136,0	-53,3	-14,1	-13,4	-65,3	3	
Камчатский край	Субъекты Российской Федерации, расположенные на Дальнем Востоке тский АО 163,9 53,8 50,5 47,0 -67,2 -6,1 -7,0 -71,3 данская область 391,6 182,7 156,9 136,0 -53,3 -14,1 -13,4 -65,3 гатский край 471,9 358,8 322,0 292,0 -24,0 -10,2 -9,3 -38,1 линская область 710,2 546,6 497,9 467,0 -23,0 -8,9 -6,2 -34,2			-38,1	3					
Сахалинская область	710,2	546,6	497,9	467,0	-23,0	-8,9	-6,2	-34,2	3	
Еврейская АО	214,0	190,9	176,5	150,0	-10,8	-7,5	-15,0	-29,9	3	
Забайкальский край	1375,3	1155,3	1107,1	1004,0	-16,0	-4,2	-9,3	-27,0	3	
Амурская область	1050,2	902,8	830,1	767,0	-14,0	-8,1	-7,6	-27,0	3	
Хабаровский край	1597,7	1436,5	1343,8	1293,0	-10,1	-6,5	-3,8	-19,1	4	
Приморский край	2256,0	2071,2	1956,4	1845,0	-8,2	-5,5	-5,7	-18,2	4	
Республика Саха (Якутия)	1094,0	949,2	958,5	996,0	-13,2	1,0	3,9	-9,0	5	
Республика Бурятия	1038,2	981,2	972,0	979,0	-5,5	-0,9	0,7	-5,7	5	
	10363,6	8829,4	8372,2	7976,0	-14,8	-5,2	-4,7	-23,0		
	бъекты и цящие в <i>1</i>						[
Чукотский АО	163,9	53,8	50,5	47,0	-67,2	-6,1	-7,0	-71,3	3	
Мурманская область	1164,5	892,5	795,4	668,0	-23,4	-10,9	-16,0	-42,6	3	
Ненецкий АО	53,9	41,5	42,0	41,0	-22,9	1,3	-2,6	-24,0	5	
Ямало-Ненецкий АО	494,8	507,0	522,9	510,0	2,5	3,1	-2,5	3,1	2	
всего	1877,2	1494,9	1410,9	1266,0	-20,	-5,6	-10,3	-32,6		
Части субъектов РФ, входящих в Арктическую зону РФ			1310,73	1223,6			-6,6			
Всего (субъекты и части субъектов)			2721,6	2489,6						

П р и м е ч а н и е . 1,2 — данные за 2014 г.; 3 — численность за 2012 г.

Таблица 5 Динамика численности населения части субъектов РФ, входящих в Арктическую зону РФ

Части субъектов РФ, входящих в Арктическую зону РФ	2012 г.	2021 г.	Темп приро- ста, %	Удель- ный вес, %, 2012 г.	Удель- ный вес, %, 2021 г.
Республика Карелия	639681	609071	-4,8	100,0	100,0
части территории Республики Карелия					
Лоухский МР	13948	10619	-23,9	2,2	1,7
Калевальский национальный МР	8035	6489	-19,2	1,3	1,1
Кемский МР	17260	13961	-19,1	2,7	2,3
Беломорский МР	18546	15151	-18,3	2,9	2,5
Сегежский МР	40420	34761	-14,0	6,3	5,7
Костомукшский ГО	29044	30273	4,2	4,5	5,0
итого по части территории Республики Карелия	127253	111254	-12,6	19,9	18,3
Республика Коми	889837	813590	-8,6	100,0	100,0
части территории Республики Коми					
МО ГО «Инта»	33540	26339	-21,5	3,8	3,2
МО ГО «Воркута»	91400	72423	-20,8	10,3	8,9
MP «Усть-Цилемский»	12656	10986	-13,2	1,4	1,4
МО ГО «Усинск»	46682	42825	-8,3	5,2	5,3
итого по части территории Республики Коми	184278	152573	-17,2	20,7	18,8
Республика Саха (Якутия)	955859	981971	2,7	100,0	100,0
части территории Республики Саха (Якутия)					
MP «Верхнеколымский улус (район)»	4558	3984	-12,6	0,5	0,4
MO «Верхоянский район»	12394	10989	-11,3	1,3	1,1
MP «Абыйский улус (район)»	4353	3916	-10,0	0,5	0,4
MP «Усть-Янский улус (район)»	7811	7035	-9,9	0,8	0,7
МО «Булунский улус (район)»	9419	8501	-9,7	1,0	0,9
MO «Момский район»	4391	4051	-7,7	0,5	0,4
МО «Аллаиховский улус (район)»	2935	2726	-7,1	0,3	0,3
MP «Нижнеколымский район»	4539	4228	-6,9	0,5	0,4
МО «Среднеколымский улус (район)»	7793	7312	-6,2	0,8	0,7
MP «Жиганский национальный эвенкийский район»	4274	4179	-2,2	0,4	0,4
МО «Эвено-Бытантайский национальный улус (район)»	2816	2879	2,2	0,3	0,3
MP «Оленекский эвенкийский национальный район»	4085	4326	5,9	0,4	0,4
МО «Анабарский национальный (долгано-эвенкийский) улус (район)»	3413	3672	7,6	0,4	0,4
итого по части территории Республики Саха (Якутия)	72781	67798	-6,8	7,6	6,9
Красноярский край	2838396	2855899	0,6	100,0	100,0
части территории Красноярского края					
СП «Поселок Кислокан»	142	93	-34,5	0,01	0,00
СП «Поселок Нидым»	217	147	-32,3	0,01	0,01
СП «Поселок Юкта» Эвенкийского муниципального района	104	81	-22,1	0,00	0,00
СП «Поселок Учами»	120	95	-20,8	0,00	0,00
МО Туруханский район	18325	15364	-16,2	0,6	0,5
СП «Поселок Тутончаны»	245	208	-15,1	0,01	0,01

Окончание табл. 5

СП «Поселок Суринда»	468	421	-10,0	0,02	0,01
Таймырский Долгано-Ненецкий МР	34365	31466	-8,4	1,2	1,1
СП «Поселок Тура»	5668	5362	-5,4	0,20	0,19
СП «Поселок Чиринда»	212	206	-2,8	0,01	0,01
СП «Поселок Эконда»	283	281	-0,7	0,01	0,01
МО город Норильск	177273	182701	3,1	6,2	6,4
СП «Поселок Ессей»	624	663	6,3	0,02	0,02
итого по части территории Красноярского края	238046	237088	-0,4	8,4	8,3
Архангельская область с АО	1213533	1127051	-7,1	100,0	100,0
части территории Архангельской области					
МО «Лешуконский муниципальный район»	7545	5840	-22,6	0,6	0,5
МО «Пинежский муниципальный район»	26019	20496	-21,2	2,1	1,8
МО «Мезенский муниципальный район»	10023	8127	-18,9	0,8	0,7
МО «Онежский муниципальный район»	34403	28402	-17,4	2,8	2,5
МО «Город Новодвинск»	40288	37256	-7,5	3,3	3,3
ГО «Северодвинск»	191307	181768	-5,0	15,8	16,1
МО «Приморский муниципальный район»	26286	25171	-4,2	2,2	2,2
МО «Город Архангельск»	349533	344927	-1,3	28,8	30,6
МО ГО «Новая Земля»	2897	2861	-1,2	0,2	0,3
Итого по части территории Архангельской области	688301	654848	-4,9	56,7	58,1

 Π р и м е ч а н и е . MP — муниципальный район, MO — муниципальное образование; Γ O — городской округ; Γ C — сельское поселение.

Практически все муниципальные образования включены в зону сокращения населения с 2012 г. к 2021 г. Суммарная численность данной территориальной структуры Арктической зоны страны сократилась с 1,3 млн чел. в 2012 г. до 1,2 млн чел. (на 6,6%) в 2021 г. За этот период наибольшее сокращение населения произошло в арктической территориальной структуре Республики Коми (на 17%), Республики Карелия (на 12,6%). На уровне субъектов арктическая территориальная структура также уменьшилась по численности населения: с 21% до 19% в Коми, с 20% до 18% в Карелии за рассматриваемый период. Самый значительный арктический сектор по удельному весу населения в субъекте представлен в Архангельской области: 56,7% в 2012 г., 58,1% в 2021 г., что обусловлено менее интенсивным сокращением населения Архангельска и Северодвинска (соответственно на 1,3% и на 5,0%). Рассматриваемый регион отличается выраженностью структуры городского населения по численности: суммарная численность населения городов сократилась с 959 тыс. чел. в 2012 г. до 918,5 тыс. чел. в 2021 г. (- 4%), удельный вес населения городов составлял 73% в 2012 г., 75% в 2021 г. Опорный каркас городов данного региона представлен восемью городскими образованиями (города и городские округа) из 45 муниципальных образований данного региона (18%). Это Костомукша (30 тыс. чел.) в Карелии, Архангельск (345 тыс. чел.), Северодвинск (181 тыс. чел.), Новодвинск (37 тыс. чел.) в Архангельской области, рассматриваемые как проект агломерации «Большой Архангельск», Воркута (70 тыс. чел.), Усинск (42 тыс. чел.), Инта (26 тыс. чел.) в Коми, Норильск (182 тыс. чел.) в Красноярском крае. Проблемный признак данной городской структуры – это сокращение численности населения. Инта и Воркута – моногорода республики Коми со значительным сокращением населения (более 20%) по сравнению с другими городскими образованиями в составе рассматриваемого региона вследствие неблагоприятной рыночной специализации и отсутствием чётких перспектив их дальнейшего развития, на что указывалось на правительственном уровне [11].

 Таблица 6

 Приграничные геостратегические территории РФ

	Численн	юсть нас	еления, т	гыс. чел.		Темп	прироста	,%	
	1989 г. 2002 г. 2010 г. 202		2021 г.	1989– 2002 гг.	2002— 2010 гг.	2010– 2021 гг.	1989– 2021 гг.	тип	
Субъект РФ	, гранич	нащий с	о страна	ми, вход	ящими в	Европе	йский со	Ю3	
Ленинградская область		1669,2	1716,8	2001,0	0,9	2,9	16,5	21,0	1
Суб	ьекты Ро входян	ссийской цими в Е	и́ Федера вразийск	ции, гран ий эконс	ничащие (мически	со страна й союз	ми,		
Курганская область	1103,6	1019,5	910,8	777,0	-7,6	-10,7	-14,7	-29,6	3
Смоленская область	1153,5	1049,5	985,5	888,0	-9,0	-6,1	-9,9	-23,0	3
Алтайский край	2631,2	2607,4	2419,7	2164,0	-0,9	-7,2	-10,6	-17,8	4
Оренбургская область	2170,6	2179,5	2033,0	1863,0	0,4	-6,7	-8,4	-14,2	4
Омская область	2141,9	2079,2	1977,6	1859,0	-2,9	-4,9	-6,0	-13,2	5
Саратовская область	2684,4	2668,3	2521,8	2443,0	-0,6	-5,5	-3,1	-9,0	5
Челябинская область	3617,7	3603,3	3476,2	3431,0	-0,4	-3,5	-1,3	-5,2	5
Волгоградская область	2592,9	2699,2	2610,1	2501,0	4,1	-3,3	-4,2	-3,5	5
Астраханская область	991,5	1005,2	1010,0	960,0	1,4	0,5	-5,0	-3,2	5
Самарская область	3262,9	3239,7	3215,5	3173,0	-0,7	-0,7	-1,3	-2,8	5
Новосибирская область	2778,7	2692,2	2665,9	2798,0	-3,1	-1,0	5,0	0,7	2
Тюменская область без АО	1320,4	1325,0	1340,6	1603,0	0,3	1,2	19,6	21,4	1
Субъект	гы Росси	йской Фе	едерации	, гранича	щие с др	угими ст	ранами		
Курская область	1335,4	1235,0	1127,0	1082,0	-7,5	-8,7	-4,0	-19,0	4
Воронежская область	2466,6	2378,8	2335,3	2309,0	-3,6	-1,8	-1,1	-6,4	5
Ростовская область	4292,2	4404,0	4277,9	4201,0	2,6	-2,9	-1,8	-2,1	5
Республика Тыва	308,5	305,5	307,9	337,0	-1,0	0,8	9,4	9,2	2
Республика Алтай	190,8	202,9	206,1	211,0	6,3	1,6	2,3	10,6	1
Белгородская область	1378,2	1511,6	1532,5	1540,0	9,7	1,4	0,5	11,7	2
Краснодарский край	462,0	512,5	522,6	583,8	10,9	2,0	11,7	26,3	1
Субъекты Россий экономический союз, а									союз
Псковская область	845,2	760,8	673,4	600,0	-10,0	-11,5	-10,9	-29,0	3
Брянская область	1470,1	1378,9	1278,2	1169,0	-6,2	-7,3	-8,5	-20,5	4
Итого	45011	45140	43849	43748	0,28	-2,9	-0,23	-2,8	

Прирост населения на 3% отмечался в Норильске, опорном городе по развитию Таймыра по принятому в 2021 г. плану социально-экономического развития [12, с. 3], и в Костомукше на 4%, на территории данного города сформирована в 2019 г. территория опережающего социально-экономического развития для снижения зависимости от градообразующего предприятия «Карельский окатыш» [13, с. 1].

Типы приграничных геостратегических территорий РФ по демографическому положению представлены в табл. 6 [7, приложение № 4].

Основные выводы о демографическом положении данного региона РФ. Общая численность населения всех субъектов (всего 21 субъект) сократилась с 45 млн чел. в 1989 г. до 43,7 млн чел. в 2021 г. К 1 и 2 типам с благоприятным демографическим положением отнесены 7 субъектов: Ленинградская (граничит со странами ЕС), Тюменская без АО, Новосибирская области (граничат со странами Евразийского экономического союза), Краснодарский край, Белгородская область, республики Алтай и Тыва (граничат с другими странами). Остальные субъекты отнесены к типам

с неблагоприятным демографическим положением, в «красную зону» вошли Курганская (граница с Казахстаном), Псковская (граница с Эстонией, Латвией, Беларусью), Смоленская (граница с Беларусью) области. 12 субъектов граничат с Казахстаном (страна с ростом численности населения: 16,2 млн чел в 1989 г. 19,1 млн чел в 2021 г.), 10 из них включены в типы 3–5 демографического неблагополучия.

Заключение

Северо-Кавказский МР выгодно отличается абсолютным наличием субъектов с благоприятным демографическим положением; численность населения макрорегиона увеличилась с 7,2 млн чел. в 1989 г. до 10,2 млн чел. в 2021 г. (+ 40%). Дальневосточный МР не имеет ни одного субъекта с благоприятным демографическим положением; численность населения макрорегиона сократилась с 10 млн чел. в 1989 г. до 8 млн чел в 2021 г. (-23%). Наиболее привлекательные для населения макрорегионы страны Европейской части РФ отличаются преобладанием проблемно-демографических субъектов. Проблемное направление пространственного демографического развития страны с 1989 г. к 2021 г. заключается в сокращении количества субъектов с численностью 3–5 млн чел. (с 12 до 8), 1–3 млн чел. (с 45 до 38). Практически все муниципальные образования такого региона, как «части субъектов РФ в составе Арктической зоны», включены в зону сокращения населения с 2012 г. к 2021 г., суммарная численность данной территориальной структуры Арктической зоны страны сократилась с 1,3 млн чел. до 1,2 млн чел. (-6,6%). Регион отличается выраженностью структуры городского населения по численности населения; суммарная численность населения городов сократилась с 959 тыс. чел. в 2012 г. до 918,5 тыс. чел. в 2021 г. (-4%), удельный вес населения городов составлял 73% в 2012 г., 75% в 2021 г. Опорный каркас городов данного региона представлен восемью городскими образованиями из 45 муниципальных образований данного региона (18%). Общая численность населения всех 21 субъектов в составе региона «приграничные геостратегические территории РФ» сократилась с 45 млн чел. в 1989 г. до 43,7 млн

чел. в 2021 г.; к 1 и 2 типам с благоприятным демографическим положением отнесены 7 субъектов.

Список литературы

- 1. Горошко Н.В., Пацала С.В. Численность и воспроизводство населения: Россия на мировом фоне, регионы России на фоне страны // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2020. № 3 (22). С. 12. URL: https://ejournal.omgau.ru/index.php/vyp-rus/2020-god/3-22-iyul-senty-abr-2020-g (дата обращения: 24.08.2022).
- 2. Фаузер В.В., Лыткина Т.С., Фаузер Г.Н. Север России: динамика численности населения и проблемы миграции // Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера 2016: материалы Пятого Всероссийского научного семинара (г. Сыктывкар, 21—23 сентября 2016 г.). Сыктывкар: Изд-во ООО «Коми республиканская типография», 2016. С. 80—88.
- 3. Кайзер Е.В., Шакина И.А. Анализ факторов, влияющих на сокращение численности населения России в 2020 году // Вестник науки и образования. 2021. № 9–1 (112). С. 41–48.
- 4. Кузнецова Т.Ю. Особенности динамики численности населения в граничащих друг с другом регионах России и стран Европейского союза // Балтийский регион. 2018. Т. 10. № 3. С. 41–57.
- 5. Калабихина И.Е., Мокренский Д.Н. Динамика численности населения муниципальных образований Центральной России // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. 2017. № 6. С. 97–124.
- 6. Фаронова Ю.В., Ахунов А.Р., Тельнова Т.П., Литвинова С.А., Халилова А.Б. Географическая экспертиза плотности населения Российской Федерации // Успехи современного естествознания. 2021. № 4. С. 91–96. DOI: 10.17513/ use.37613.
- 7. Стратегия пространственного развития РФ на период до 2025 года // Правительство Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: http://static.government.ru/media/files/UVAlqUtT08o60RktoOXl22JjAe7irNxc.pdf (дата обращения: 15.07.2022).
- 8. Всероссийская перепись населения 2020 // Росстат. [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/folder/56580 (дата обращения: 10.07.2022).
- 9. Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации». Постановление Правительства РФ от 30 марта 2021 г. № 484. [Электронный ресурс]. URL: http://static.government.ru/media/files/bIT1JD kAw1JWhBgHy1SAZIkBRINmT3pG.pdf (дата обращения: 24.08.2022).
- 10. Муниципальная статистика // Росстат. [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/munstat (дата обращения: 10.07.2022).
- 11. Юрий Трутнев провёл совещание по вопросу дальнейшего развития моногородов Воркута и Инта Республики Коми. Новости Правительства РФ от 10 июля 2020 г. [Электронный ресурс]. URL: http://government.ru/news/40012/(дата обращения: 18.07.2022).
- 12. План социально-экономического развития муниципального образования г. Норильск. Распоряжение Правительства РФ от 10 декабря 2021 г. № 3528-р. [Электронный ресурс]. URL: http://static.government.ru/media/files/ifhn6ujdlj b9jSSOOxeJssLuTtqsEx26.pdf (дата обращения: 20.07.2022).
- 13. Постановление от 12 февраля 2019 года № 122. Создание ТОР «Костомукша». [Электронный ресурс]. URL: http://government.ru/docs/35741/ (дата обращения: 20.07.2022).

СТАТЬИ

УДК 552.086:553.07:550.93

МОРФОСТРУКТУРА И ЭТАПНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЗМЕИНОГОРСКОГО БАРИТ-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (РУДНЫЙ АЛТАЙ)

Гринёв О.М., Семиряков А.С., Бестемьянова К.В., Гринёв Р.О.

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Томск, e-mail: tomskgrom@yandex.ru, alexey.semiryakov@mail.ru, ksenijavt@mail.ru, jadestone@yandex.ru

В работе приводится обзор представлений о геологическом строении Змеиногорского месторождения в разные годы, резко различающихся своей содержательностью и основными рудоконтролирующими факторами, зависящими от превалирующей геотектонической концепции. За основу исследования взяты детальные поисково-оценочные работы 1940-х гг. с масштабными горными и буровыми работами и построенная по их результатам геологическая схема рудного поля. На основе анализа стратиграфии, состава пород, пликативно-дизьюнктивных деформаций вмещающих осадочных толщ, эффузивных, субвулканических и метасоматических образований, датирования их цирконов U-Pb методом (LA-Q-ICP-MS) предлагается обновленная схема строения рудного поля Змеиногорского месторождения и история его формирования. Структура месторождения имеет вулкано-тектонический характер, связь с риолитовым куполом, впоследствии эволюционировавшим в зонально-кольцевой посткальдерный комплекс (подобные морфоструктуры центрального типа являются основным поисковым признаком наиболее богатых месторождений смежного Лениногорского рудного района, например Риддер-Сокольного и Ново-Лениногорского месторождений). Рудовмещающие отложения Змеиногорского месторождения деформированы в брахиантиклинальную складку, в замковой части которой первичные осадочные породы почти полностью метасоматизированы до образования вторичных кварцитов. На основе фациального состава, характера залегания, степени дислоцированности и абсолютного возраста стратифицируемых подразделений девона - мельничной и сосновской свит - предлагается уточненная схема стратиграфии Змеиногорского прогиба. В районе имели место несколько этапов вулканической активности: в статье описаны лохков-эмский, эйфельско-живетский, ответственные за формирование вулканических, субвулканических и пирокластических образований района. По петрохимическим особенностям для вулканических образований Змеиногорского прогиба устанавливаются два разноглубинных магматических очага, которые в пределах девона функционировали одновременно. По геохимическим особенностям устанавливаются мантийные метки, позволяющие поднимать вопрос о плюмовой природе магматизма Рудного Алтая.

Ключевые слова: Рудный Алтай, девон, Змеиногорское месторождение, барит-полиметаллические руды, морфотектоника, геохронология, U-Pb, LA-ICP-MS

MORPHOSTRUCTURE AND STAGES OF THE FORMATION OF THE ZMEINOGORSK BARITE-POLYMETALLIC DEPOSIT (RUDNY ALTAI)

Grinev O.M., Semiryakov A.S., Bestemyanova K.V., Grinev R.O.

National Research Tomsk State University, Tomsk, e-mail: tomskgrom@yandex.ru, alexey.semiryakov@mail.ru, ksenijavt@mail.ru, jadestone@yandex.ru

The article presents an overview of ideas about the geological structure of the gold-silver-barite-polymetallic Zmeinogorsk deposit. Geological schemes of different years differ sharply in their content and the main orecontrolling factors, depending on the prevailing geotectonic concept. The study is based on detailed prospecting and appraisal works of the 1940s with large-scale mining and drilling operations and a geological scheme of the ore field built based on their results. An updated scheme of the structure of the ore field of the Zmeinogorsk deposit and the history of its formation is proposed based on the analysis of stratigraphy, rock composition, plicative-disjunctive deformations of wall rock sedimentary, effusive, subvolcanic and metasomatic formations, dating their zircons by the U-Pb method (LA-Q-ICP-MS). The structure of the deposit is volcanic-tectonic in nature, associated with a rhyolitic dome, which subsequently evolved into a zonal-ring post caldera complex (such morphostructures of the central type are the main search feature of the richest deposits of the adjacent Leninogorsk ore district, for example, for Ridder-Sokolny and Novo-Leninogorsk deposits). The wall rock of the Zmeinogorsk deposit are deformed into a brachy-anticline, in the crest of which the primary sedimentary rocks are almost completely metasomatized to the formation of the secondary quartzites. Based on the facies composition, the character of the occurrence, the degree of dislocation and the absolute age of the Devonian stratified units the Melnichnaya and Sosnovskaya formation - an updated scheme of the stratigraphy of the Zmeinogorsk trough is proposed. Several volcanic activities take place in the area: the article describes Lochkovian-Emsian, Eifelian-Givetian. Volcanic, subvolcanic and pyroclastic rocks are associated with these impulses. According to petrochemical features for the volcanic formations of the Zmeinogorsk trough, two magma chambers of different depths are established, which function simultaneously in the Devonian. According to the geochemical features, the mantle markers are established. They allow us to raise the question of the plume nature of magmatism in the Rudny Altai region.

Keywords: Rudny Altai, Devonian, Zmeinogorsk deposit, barite-polymetallic ores, morphotectonics, geochronology, U-Pb, LA-ICP-MS

Горно-металлургическое производство в регионе началось с обнаружения в 1717—1725 гг. рудоискателями С. Коростелевым и Ф. Комаром богатых медных руд с примесью золота и серебра на г. Змеевой. Открытия сыграли важнейшую роль в освоении недр как Рудного Алтая, так и всей Южной Сибири. Змеиногорское барит-полиметаллическое золото-серебряное месторождение эксплуатировалось с перерывами более двух веков — с 1735 по 1968 г., однако его отвалы, баритовые руды и отходы ЗИФ и сегодня вторично перерабатываются на золото и серебро.

Наиболее крупное и технологичное в промышленном плане Змеиногорское месторождение служило эталоном для разработки поисковых критериев для открытия других барит-полиметаллических объектов. Вместе с тем остаются открытыми ряд вопросов по структуре Змеиногорского рудного поля (ЗРП), возрасту слагающих его пород и этапов проявления вулкано-тектонических процессов, которые можно проецировать на весь Змеиногорский рудный район (ЗРР). Авторы в течение ряда лет разрабатывают тему морфотектоники, магматизма и рудогенеза Змеиногорского и других районов Рудного Алтая, а также их ключевых рудных объектов. Данные наработки вкупе с применением современных изотопно-геохимических методов позволили детально изучить структуру рудного поля, уникального по своему геологическому и историческому значению объекта, существенно уточнить его строение и историю формирования.

Наличие дискуссионных и проблемных вопросов геологического строения, условий формирования и залегания руд в отношении уникального исторического и эталонного объекта просто недопустимо. В связи с этим авторы ставят целью разработку наиболее полной и структурно обоснованной схемы строения и развития Змеиногорского рудного поля на основе детальных полевых наблюдений, минералого-геохимической аттестации и датировании вмещающих и околорудных образований U-Pb методом по циркону.

Материалы и методы исследования

В обзорной части работы авторы опираются на фондовые производственные материалы от середины XX в. до современных. Анализировались опубликованные работы по геологическому строению района. Производились детальные полевые наблюдения

сохранившихся Комисского карьера, карьера Большой разнос и их окрестностей с определением элементов залегания пород, отбором каменного материала с точной геологической и географической привязкой.

Определения петро- и геохимического состава пород методами РФА, ICP-AES и ICP-MS выполнены на оборудовании Томского регионального центра коллективного пользования Национального исследовательского Томского государственного университета. Центр поддержан грантом Минобрнауки РФ № 075-15-2021-693 (№ 13.ЦКП.21.0012).

Изотопный анализ циркона проводился в лаборатории геохронологии и геодинамики НИ ТГУ методом лазерной абляции и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (LA-Q-ICP-MS) с применением системы лазерной абляции Analyte Excite (Teledyne Photon Machines) с эксимерным лазером (193 нм) и квадрупольного массспектрометра с индуктивно связанной плазмой Agilent 7900. Диаметр лазерного пучка -25 и 35 мкм. Частота импульсов -8 Гц, плотность энергии – 3,23 Дж/см-2. Время анализа -30 с, время измерения фона -20 с. Использованные международные стандарты цирконов – Temora II и Plešovice. Для определения возраста цирконов отношение 207 Pb/ 206 Pb не учитывалось, так как оно значимо достоверно только при возрасте более 1 млрд лет, где ошибка определения возраста (1σ) менее 2%. Поэтому для расчета средневзвешенного конкордантного возраста использовались изотопные отношения ²⁰⁷Pb/²³⁵U и ²⁰⁶Pb/²³⁸U.

1. Краткие геологические данные об объекте

1.1. Основные элементы стратиграфии и магматизма рудного поля

Основание стратифицируемого разреза северо-западной части Рудного Алтая терригенно-метаморфогенная корбалихинская толща, расчлененная на две подтолщи: в своей верхней части она сложена метапесчаниками с прослоями сланцев и метаалевролитов; в нижней кварц-эпидот-хлоритовыми, серицит-хлоритовыми, актинолит-хлоритовыми сланцами. Ранее ее возраст определяли как РZ, в том числе и при геолкартировании 1:200 000 масштаба [1]. Позднее на основании находок в верхних частях толщи микрофоссилий акритарх и спор папоротниковых ее отнесли к S-D₁. С тех пор при госгеолкартировании [2] принимают за основу именно силур-раннедевонский возраст.

В основании непосредственно девонского разреза Змеиногорского прогиба, к которому приурочено одноименное барит-полиметаллическое месторождение, залегает мельничная свита ($D_{1-2}mn$), по [1] расчлененная на три подсвиты:

- нижнемельничная подсвита (D_1mn_1) представленная в основании конгломератами, песчаниками, с редкими прослоями лав и туфов кислого и ограниченно основного состава, в большом объеме развиты известковистые алевролиты и аргиллиты. Эмский возраст кремнисто-карбонатных осадков подтверждается остатками флоры и фауны (кораллы, брахиоподы, конодонты);
- среднемельничная подсвита (D_2mn_2) , к которой приурочены лавовые и туфовые образования риолитов и риодацитов, с прослоями туфопесчаников и туфоалевролитов;
- верхнемельничная подсвита (D_2mn_3) слагается как осадочными породами алевролитами, аргиллитами с прослоями известняков, так и вулканогенно-осадочными породами туфопесчаниками и туфами риолитов.

При последующем картировании [2] мельничная свита расчленяется на две подсвиты: к нижней эмской ($D_{1.2}mn_1$) относятся прибрежно-морские осадки с редкими прослоями туфов кислого и реже основного состава; к верхней эйфель-раннеживетской ($D_{1.2}mn_2$) — тонко- и мелкозернистые морские осадки, лавы риолитов, риодацитов и их туфы.

Мельничная свита относится к первому из пяти выделенных в Рудном Алтае [3] рудоносных геохронологических уровней — эмс-раннеэйфельскому ($D_1e-D_2ef_1$).

Рудовмещающие отложения мельничной свиты несогласно перекрываются сосновской свитой (D₂ss) преимущественно вулканогенного состава. Среди вулканогенно-осадочных пород большой стратиграфический объем формируют туфы риолитов. Редки прослои туфоалевролитов и туфопесчаников слабо-среднесцементированных. Из магматических пород развиты покровные и потоковые лавы риолитового состава. По данным [2] весь объем свиты приурочен к нижнему живету среднего девона.

Стратифицируемые отложения насыщены гипабиссальными штоками, дайками и силлоподобными субсогласными телами риолитов, трахириолитов и риодацитов мельнично-сосновского комплекса ($\lambda D_{1-2}ms$); штоками и дайками давыдовско-каменевского комплекса (β , $\lambda D_2 dk$) долеритового

состава, разностями непрерывной базальтриолит-триахириолитовой серии. Субвулканические образования комплексов пространственно ассоциируют с эффузивно-пирокластическими породами мельничной и сосновской свит.

1.2. Схемы структуры рудного поля Змеиногорского месторождения

Рассмотренные схемы предшественников отличаются друг от друга принципиальными особенностями — определением генетических аспектов рудного поля, детальностью описания геологического строения, включая роль тектонических деформаций, магматизма и метасоматоза, отсутствие представлений о которых искажает понимание поисковых предпосылок и условий локализации руд.

1.2.1. *Схема В.М. Чекалина (1996)*. Наиболее «свежая» и принятая за основу при геолкартировании [1] схема строения рудного поля Змеиногорского месторождения опубликована в 1996 г. [4]. На этой схеме (рис. 1, А) барит-полиметаллическое оруденение имеет исключительно стратиформный характер и располагается в виде линзы внутри разреза верхней алеврито-аргиллито-известково-кремнистой подсвиты мельничной свиты (D_2mn_2) , которая подстилается туфами, лавами риолитов, риодацитов средней ($D_2 m n_2$) и алевролитами, песчаниками и туфами кислого состава нижней подвситы ($D_1 m n_1$) мельничной свиты. Помимо основного рудного тела В.М. Чекалин выделяет участки развития полиметаллического прожилково-жильного оруденения, приуроченного к стратиформным телам риолитов. Контакты между подсвитами на схеме согласные, стратиграфические, без осложнения их тектоникой и внедрениями магматических пород. Возраст отложений нижнедевонских определен на основе наличия эмской морской фауны в глинистых известняках нижней подсвиты, обнаруженной в южной периферии рудного поля (северный берег заводского пруда г. Змеиногорска).

1.2.2. Схема А.А. Гармаша (1960). Более ранняя схема рудного поля опубликована в работе [5] и имеет явно более проявленный тектоно-стратиграфический характер с участием в его строении метасоматических и магматических образований (рис. 1, В). Оруденение на схеме приурочено к апикальным контактовым зонам тела метасоматических микрокварцитов, развитых по аргиллитам и глинистым известнякам нижнемельничной подсвиты (D₁mn₁).

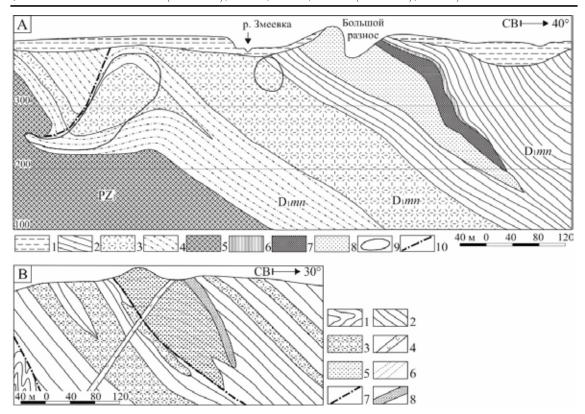


Рис. 1. Схематичные геологические разрезы Змеиногорского месторождения с правками авторов. А—по представлениям В.М. Чекалина [4]: 1—рыхлые песчано-глинистые отложения; 2—алевролиты, аргиллиты известковистые, кремнистые; 3—туфы, лавы риолитов, риодацитов; 4—алевролиты, песчаники, туфы кислого состава; 5—метаморфические сланцы; 6—8—руды: 6—баритовые, 7—золото-серебро-барит-полиметаллические, 8—золото-полиметаллические; 9—контур полиметаллического прожилково-жильного оруденения; 10—разрывные нарушения. В—по представлениям А.А. Гармаша [5]: 1—метаморфические сланцы; 2—аргиллиты; 3—туфы и туфобрекчии эффузивов кислого состава; 4—дайки долеритов и долеритовых порфиритов; 5—микрокварциты; 6—пластовая отдельность; 7—тектонические нарушения; 8—выработанная залежь висячего блока

Микрокварциты образуют в плане расширенное в СЗ направлении линзообразное тело, выклинивающееся в ЮВ направлении и на глубину. С запада оно ограничивается субмеридиональным разломом. Микрокварциты занимают субсогласное положение по отношению к вмещающим известковистым аргиллитам и размещаются в замковой части брахиантиклинали. В западной части тела микрокварцитов расположено мелкое штокообразное тело долеритов, от которого веерообразно в восточном, северном и северо-западном румбах распространяются дайки долеритов, секущих микрокварциты и руды. Западный фланг рудного поля слагается горстообразным выступом метаморфических сланцев. Возрастных датировок на схеме не приводится.

1.2.3. Схема Ф.Н. Вьюнова и Ф.Д. Ста-ховича (1949). Как первая, так и вторая схемы противоречат или не учитывают многие

принципиальные особенности строения рудного поля. Наиболее полной и объективной, по мнению авторов, является схема, составленная по материалам доразведки Змеиногорского месторождения конца 1940-х гг. С опорой на фондовые источники (Отчет о разведке Змеиногорского месторождения на Алтае за 1947—1948 гг. / Вьюнов Ф.Н., Стахович Ф.Д. Змеиногорск, 1949. 185 с.) и собственные полевые наблюдения была уточнена схема строения рудного поля Змеиногорского барит-полиметаллического месторождения (рис. 2) и отобрана совокупность проб околорудных и вмещающих толщ месторождения, возраст которых был не определен ранее.

Проведенный морфотектонический анализ космоснимков с наблюдением взаимоотношений основных структурообразующих элементов и образуемых их толщ на местности восстанавливают структуру рудного поля в следующем виде:

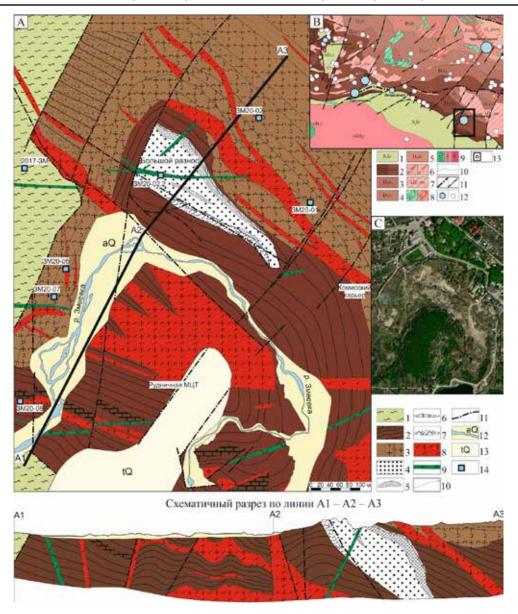


Рис. 2. Геологическое строение Змеиногорского барит-полиметаллического месторождения на основе «Отчета о разведке Змеиногорского месторождения на Алтае за 1947–1948 гг.» (Отв. исполн. Ф.Н. Выюнов, Ф.Д. Стахович, 1949) с изменениями и дополнениями авторов. A-Cхема строения рудного поля: I-метапесчаники и кварц-хлорит-серицитовые сланцы корбалихинской толци; 2 – эмские морские отложения (алевролиты, аргиллиты, известняки) мельничной свиты; 3 – туфы, туффиты, туфопесчаники, риолиты сосновской свиты (эйфель-живет); 4 — вторичные микрокварциты; 5 — золото-серебро-барит-полиметаллические руды; 6 — баритовые руды; 7 — барит-кварцитовые брекчии; 8 — потоки, дайковые, силлоподобные и штоковые тела риолитов; 9 — штоки и дайки долеритов; 10 — геологические границы; 13 – техногенные отвалы; 14 – места отбора проб на U-Pb датирование (см. в тексте). В – схематическая геологическая карта центральной части Змеиногорско-Зареченского рудного района: 1 – метаморфогенно-терригенная корбалихинская толща; 2 – алевритисто-глинистоизвестковистая мельничная свита, расчлененная на нижнюю и верхнюю подсвиты; 3— вулканогенная сосновская свита; 4— заводская свита; 5— давыдовская свита; 6 – каменевская свита, расчлененная на нижнюю и верхнюю подсвиты; 7 – мельнично-сосновский субвулканический комплекс; 8 – давыдовско-каменевский субвулканический комплекс; 9 – змеиногорский комплекс габбро-плагиогранит-лейкогранитовый; 10 – геологические границы; 11 – главные и второстепенные разрывные нарушения; 12 – месторождения, точки минерализации и рудопроявления; 13 – рудное поле Змеиногорского месторождения. С – космоснимок местности (с сервера Марьох) с границами внутренней кальдерной и средней кольцевой зон зонально-кольцевого посткальдернного комплекса

Западный фланг рудного поля слагается горстообразным выступом сложнодислоцированных (до плойчатости) ритмично- и тонкослоистых зеленых кварц-хлоритсерицитовых сланцев, метапесчаников и метаалевролитов, местами интенсивно пронизанных маломощными кварцевыми и кальцитовыми жилами. Контакт зеленых сланцев с девонскими образованиями на всем его простирании тектонический (рис. 2, A).

Южная посткальдерная часть рудного поля слагается мельничной свитой. Разломами субмеридионального, субширотного и диагонального направлений подсвита разбита на мозаику тектонических блоков, формирующих структуру типа «разбитой тарелки». Внутренняя часть этой «тарелки» опущена примерно на 60-80 м и имеет размеры ~360×240 м. Основание кальдеры почти по полному кольцу трассируется руслом р. Змеёвки. Обрамляющая ее кольцевая зона гипсометрически приподнята в рельефе и имеет диаметр ~800×600 м. В совокупности они образуют зонально-кольцевой посткальдерный комплекс. На внутренних стенках кальдеры и кольцевой зоны сохранились реликты риолитовой тефры светлосерого цвета, не уничтоженные эрозией. В пределах посткальдерной части рудного поля мельничная свита обильно насыщена послойными силлоподобными и дайковыми секущими телами риолитов.

Руды Змеиногорского барит-полиметаллического месторождения располагаются в северной части кольцевой зоны, где приурочены к ядерной части брахиантиклинали (рис. 2, А, и 3, А), образованной нижнемельничной подсвитой. Структурно они тесно приурочены к кварцитовидному «сердечнику», выполняющему замковую (ядерную) часть брахиантиклинали. Основная рудная залежь свинцово-цинковых руд, с умеренной ролью халькопирита и барита, обрамляла северную периферию кварцитовидного сердечника. Залежь занимала висячее положение в разрезе и на глубину выклинивалась вместе с телом кварцитов. В зоне южного (лежачего) контакта тела кварцитов также отмечены линзы галенит-сфалеритовых руд, аналогичных основному телу.

В настоящее время как барит-полиметаллические руды, так и золотоносные кварциты отработаны и на их месте располагается карьер «Большой разнос». Гипсометрически наиболее высокое положение занимает южная стенка карьера, сложенная грубослоистой нижнемельничной подсвитой известковистых аргиллитов. На начало

отработки вершинную часть г. Змеиной слагали коренные выступы кварцитов и вздернутый блок нижнемельничной подсвиты. По их контакту проходит разлом запад-северо-западного простирания и развиты барит-кварцитовые брекчии (рис. 3, В), содержащие вкрапленно-шлировое сульфидное оруденение преобладающей медной специализации. Восточная часть этой приразломной брекчиевой зоны хорошо выражена в рельефе в виде отпрепарированной выветриванием гряды. На нижнем уровне карьера в настоящее время видны блоки и останцы не отработанных до конца золотоносных кварцитов и частично окисленных баритовых свинцово-цинковых руд (рис. 3, С).

Западную, СЗ и СВ периферию рудного поля несогласно перекрывают пепловые, туфовые и тефроидные отложения с прослоями тонкого осадочного материала и потоками кислых лав, а также пронизанными секущими и субсогласными риолитовыми телами.

- 2. Установление сложной блоковой структуры рудного поля, геохимические исследования и U-Pb датирование цирконов позволили расшифровать структурную эволюцию и историю формирования Змеиногорского рудного поля (ЗРП) и Змеиногорского рудного района (ЗРР) в целом. Определяющее значение при этом имели датировки следующих образований:
- 2.1. Изучение и U-Pb датирование цирконов вмещающих толщ Змеиногорского рудного поля

Для U-Pb датирования были извлечены цирконы из метапесчаников и кварц-хлорит-серицитовых сланцев корбалихинской толщи, туфы риолитового состава мельничной и сосновской свит, малых интрузий риолитового и долеритового состава.

2.1.1. Зеленосланцевая толща додевонского основания района. U-Pb датирование детритовых цирконов из метапесчаников и кварц-хлорит-серицитовых сланцев (рис. 3, D) корбалихинской толщи установило основные рубежи формирования додевонского субстрата, в дальнейшем эродирующегося и формирующего толщу: средний-поздний кембрий (~495 млн лет) и поздний рифей (~805 млн лет) (рис. 4, А). Источником сноса детритовых цирконов в зеленосланцевый резервуар после среднего кембрия наиболее вероятно служили структуры Горного Алтая. В современной геодинамической схеме двум основным пикам накопления цирконов соответствуют океанический $(R_3 - \mathcal{E}_1)$ и островодужный $(\mathcal{E}_{1}\text{-}O_{1})$ мегаэтапы развития Горного Алтая.

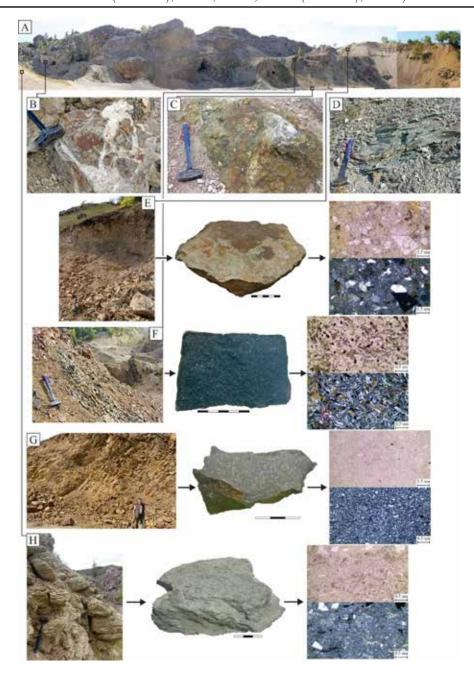


Рис. 3. Основные структурные элементы Змеиногорского месторождения: А – панорама югозападной стенки карьера Большой разнос с реликтами слоистости нижнемельничной подсвиты и антиклинальным залеганием; В – барит-кварцитовая брекчия из южного фланга кварцитовидного ядра антиклинальной складки; С – окисленный останец полиметаллической руды, выходящий на поверхность на дне карьера; D – кварц-хлорит-серицитовые сланцы, формирующие западный фланг рудного поля; Е – туфы риолитового состава верхнемельничной подсвиты; F – штоководайковое тело долеритов; G – силлоподобное тело риолитов мельнично-сосновского комплекса; Н – риолитовые туфы сосновской свиты, несогласно перекрывающие СВ и СЗ части рудного поля. Цена деления линейки для макроизображений образцов – 1 см

Более древние рубежи корообразования не учитываются, хотя единичные реликтовые цирконы протерозоя-архея проявлены. Ar-Ar датирование серицита из зеленых

сланцев установило позднесилурийский возраст завершающего метаморфизма корбалихинской толщи – 436–421 млн лет (Бестемьянова и др., In Press).

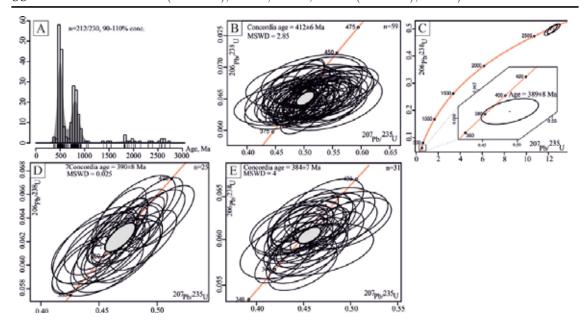


Рис. 4. Результаты U-Pb датирования детритовых и магматических цирконов из пород Змеиногорского рудного поля: А – гистограмма распределения с плотностью вероятности U-Pb возраста обломочных цирконов зеленых сланцев корбалихинской толщи (90–110% – границы конкордантности возрастов по ²⁰⁷Pb/²³⁵U и ²⁰⁶Pb/²³⁸U изотопным системам; 93/102 отношение конкордантных замеров к общему числу); В-E – диаграммы с конкордией для магматических цирконов: В – туфы риолитового состава нижнемельничной подсвиты; С – дайка долеритов, D – силлы ритолитов сосновского комплекса, E – перекрывающие туфы риолитового состава сосновской свиты

2.1.2. Вулканиты и осадочные породы мельничной свиты. В пределах ЗРР вулканических образований ранних ярусов девона кроме эмского до наших исследований не было известно. Пользуясь кондиционной геологической картой, мы провели опробование вулканитов базальтового, андезибазальтового состава в естественных обнажениях, а также мощных накоплений риолитовых туфов и тефры Зареченского рудного поля, смежного со Змеиногорским. Обломки тефры по большей части кварцевые, реже калиевополевошпатовые и мусковитовые, встречаются обломки кварцитов (рис. 3, Е). По окатанности обломки встречаются как угловатые, так и хорошо окатанные, что говорит о переотложении пепловых масс и участии в осадках терригенного материала. Цемент тефры глинистого состава. Из базальтов и андезибазальтов пока не удалось извлечь цирконы, тогда как из туфов риолитов они были получены в необходимом количестве. Согласно проведенным исследованиям возраст зареченских цирконов из туфов риолитового состава составляет 412±6 млн лет (рис. 4, B), что соответствует верхам лохковского яруса раннего девона.

Доминирующие в разрезах туфы риолитов соседствуют с базальтами, андезибазальтами, терригенно-карбонатными осадками, и по всем признакам представляют нижнюю часть разреза мельничной свиты лохков-пражского интервала. Выше их залегает хорошо проявленная в разрезе ЗРП и других местах рудного района эмская толща кремнисто-карбонатных осадочнотерригенных пород с небольшим участием вулканитов основного, среднего и кислого состава и обильной прибрежной фауной. В совокупности эти образования представляют раннедевонский регрессивно-трансгрессивный цикл, подобный и синхронный циклу смежного Коргонского прогиба Горного Алтая, в пределах которого в интервале 416-410 млн лет проявлялся дифференцированный андезибазальт – андезит – андезидацит – дацитовый вулканизм гомодромной направленности, а в интервале 413-404 млн лет происходит внедрение субвулканических интрузий риодацитов риолитов [6].

В пределах ЗРП эмские отложения мельничной свиты разбиты на мозаику разновеликих блоков с разной амплитудой их вертикального перемещения, в совокупности

представляющих посткальдерную структуру и рудовмещающую брахиантиклиналь с кварцитовидным ядром. Полученные данные заставляют существенно пересмотреть состав и возраст мельничной свиты ЗРР, ограничив его рамками раннего девона, в отличие от данных последних геологических съемок.

2.1.3. Магматиты эйфельско-живетских («мельнично-сосновского» и «давыдовско-каменевского») комплексов

Эйфельские туфы риолитов и малые интрузии риолитового и долеритового состава. В карьере Змеиногорского месторождения отчетливо видно, что грубослоистая глинисто-карбонатная толща эмской подсвиты мельничной свиты (с обильной лагунно-морской фауной) несогласно и плащеобразно перекрывается толщей туфов риолитового состава. Туфы риолитов захоранивают сложнорасчлененный раннедевонской эмской подсвиты, а выше по разрезу приобретают мелкоритмичное строение, хорошо выраженную тонкую слоистость, резко контрастирующую по составу, строению и условиям залегания с подстилающими эмскими образованиями. Согласно схеме стратиграфии последней геологической съемки [2] эти отложения соответствуют верхнемельничной подсвите, эйфельский возраст которой установлен по табулятам, брахиоподам и прочей прибрежно-морской фауне в прослоях известково-глинистых отложений.

В западной и посткальдерной частях ЗРП бурением и горными работами установлены многочисленные силлы и дайки риолитов, субсогласно насыщающие эмскую мельничную свиту и эйфельские вулканогенно-осадочные отложения. Они обладают олигофировой витропорфировой структурой с редкими вкрапленниками кварца до от 0,05 до 0,2 мм, участками наблюдается элементы перлитовой структуры с наличием овальных трещинок в стекле, ориентированных однообразно с удлиненными зернами кварца по типу флюидальности (рис. 3, G). Абсолютный возраст цирконов из них определен как 390±8 млн лет (рис. 2, А, пробы 3М21-05 и 3М21-06; рис. 4, D), что укладывается в первую возрастную группу конкордантных возрастов (389 и 381 млн лет), установленных [7] методами LA-ICP-MS и SHRIMP-II.

В крайней западной части карьера Змеиногорского рудника предшественниками описан мелкий долеритовый шток с радиально отходящими от него дайками того же состава. Эти дайки прорывают как кварцитовидное ядро месторождения, так и свинцово-цинковые руды. Порода представляет собой долерит с типичной долеритовой мелкозернистой структурой (рис. 3, F), в которой угловатые промежутки между лейстами плагиоклаза (№ 65–72) выполняют зерна клинопироксена. В породе отмечается обильная вкрапленность пирита 10-15%. Дайки аналогичного состава встречаются и в кольцевой зоне, обрамляющей посткальдерную депрессию (рис. 2, С). Возраст долерита из карьера Большой разнос (рис. 2, А, проба ЗМ21-02.2) составляет 389±8 млн лет, при этом в нем установлены реликтовые зерна архейского возраста -2659±38 и 2628±38 млн лет (рис. 4, С).

Площадная толща туфов риолитов живета, завершающая разрез ЗРП. Между подстилающими эйфельскими отложениями и перекрывающими площадными отложениями риолитовых туфов стратиграфическим несогласия в пределах ЗРП не наблюдается. Основной объем перекрывающими толщи представлен тонкоплитчатыми тонкослоистыми кристалловиктрокластическими туфами кислого состава с гидрохимическим цементом (рис. 3, Н). Среди туфов отмечаются маломощные редкие прослои туффитов, песчаников и лав риолитов. Толща перекрывает восточную, северную и западную периферию рудного поля. Обильный выброс пирокластики и соответствующая вспышка вулканической активности датируется живетским веком конкорданный возраст цирконов из туфов риолитов определен как 384±7 млн лет (рис. 2, A, пробы 3М21-01 и 3М21-02; рис. 4, Е).

В схеме стратиграфии [1] этому возрастному уровню соответствует сосновская свита. В целом данные толщи в пределах ЗРР представляют большую часть эйфельскоживетского цикла вулканизма среднего девона, в котором явно доминируют туфы кислого состава. Завершается цикл заводской трансгрессивной свитой живетского возраста, ознаменованной морской трансгрессией.

2.2. Петро-геохимические особенности пород

Согласно ограниченным данным анализов РФА и ICP-MS изученные эффузивнопирокластические, дайково-силловые магматиты ранне- и среднедевонского циклов характеризуются следующими особенностями.

Петрохимически вулканиты мельничной свиты представляют собой прерывистую серию от основных до кислых пород

и относятся к трахибазальт-дацит-риолитовой вулканогенно-терригенной формации. На TAS-диаграмме (рис. 5, A) фигуративные точки пород основного состава раннего девона ложатся в секторе трахибазальтов и трахиандезибазальтов, один анализ попадает в сектор базальтов. Салические разновидности занимают сектора трахидацитов, дацитов и редко андезитов. Риолиты раннего девона в основном занимают сектора риолитов и трахириолитов.

Эйфельский долерит из карьера определяется как наименее кремнеземистый трахибазальт, а силлы риолитов этого возраста соответствуют низкощелочным риолитам. При весьма близких возрастных датировках долеритов и риолитов эйфеля состав их резко контрастен. Живетские риолиты сосновской свиты на TAS-диаграмме занимают сектора риолитов и низкощелочных риолитов.

Значимые различия в составе пород проявлены на диаграмме щелочности: вариации щелочности пород здесь имеют весьма широкую амплитуду от существенно Na до К. Раннедевонские базальты характеризуются Na щелочностью, как и долерит эйфеля. Некоторые дациты и андезит раннего девона так же размещаются в секторе Na пород, а другая часть трахиандезитов и дацитов имеет К-Na щелочность. Риолиты раннего девона размещаются главным образом в секторах K-Na и K пород, обнаруживая тем самым явно не выдержанный уровень содержания К, что, видимо, является спецификой их эксплозивного происхождения. В К-секторе располагаются также риолиты силлов и туфов среднего девона.

Геохимическое сравнение. Прежде всего следует отметить, что относительно реперов OIВ и IAВ спектры распределения микроэлементов не имеют удовлетворительного сходства (рис. 5, В). Ближе всего породы основного состава соответствуют реперу E-MORB, как по конфигурации спектра, так и по уровню содержания микроэлементов, исключая, конечно, характерные для них пиковые содержания как со знаком «плюс» для Cs, Rb, Ba, Th, U, Ce, PR, Nd, так и со знаком «минус» для Nb и Та. При этом следует отметить, что для дайки долерита из карьера уровень концентрации микроэлементов примерно на треть порядка выше, чем у эффузивных разностей, и для них и характерны максимумы содержаний Ba, Nb, La, Sr, Zr и минимумы Cs, Rb, Th, Pr, Gd.

Риолиты как раннего, так и среднего девона имеют спектры распределения микро-

элементов наподобие базальтовых, однако их содержания на один-полпорядка превышают базальтовые и осложняются резко выраженными положительными пиками Сs, Rb, Ba, Th, U, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Zr, Hf и других РЗЭ; отрицательными резкими пиками Sr и Ti и умеренными Nb-Ta. Следует отметить, что для субвулканических образований – дайки долеритов и силла риолитов ярко выражен положительный пик Ва. В количественном отношении уровни концентрации микроэлементов возрастают от риолитов раннего девона к риолитам и их туфам среднего девона.

Спектры распределения РЗЭ со своей спецификой отражают выше изложенные особенности, а также демонстрируют хорошо выраженный умеренный отрицательный минимум содержаний Еи у всех кислых разновидностей и его слабоположительный пик у долерита. Обычно Еи минимум подобного рода интерпретируется как свидетельство кристаллизационной отсадки плагиоклаза в исходных расплавах, но в случае эксплозивного извержения, видимо, работает другой механизм.

Отметим также, что спектр распределения микроэлементов кварцитов ядра складки хорошо конформен кислым разностям изученных пород, что дает основание связывать их формирование с кислыми магматическими расплавами раннего девона.

В целом можно заключить, что формирование трахибазальтов и долеритов следует связывать с генерацией первичных магм из источника E-MORB литосферной мантии, включая коровый компонент. Источником кислых пород, сохраняющих мантийные метки, являлось, по-видимому, вещество коры, обогащенное эндогенным флюидным потоком, насыщенным по пути следования как мантийными, так и коровыми веществами.

Важную информацию дает анализ диаграммы Конди (рис. 4, С), разработанной для определения источников первичных магм и геодинамических обстановок проявления магматизма. Фигуративные точки составов исследованных пород располагаются в поле плюмовых образований в секторе, характеризующем глубокую деплетированную мантию, примитивную мантию и базальты океанических плато. Составы пород растянуты согласно конфигурации спектра от базальтов океанических плато и примитивной мантии и приближаются к источнику ЕМ-2 (обогащенный мантийный источник) смежного поля ОІВ.

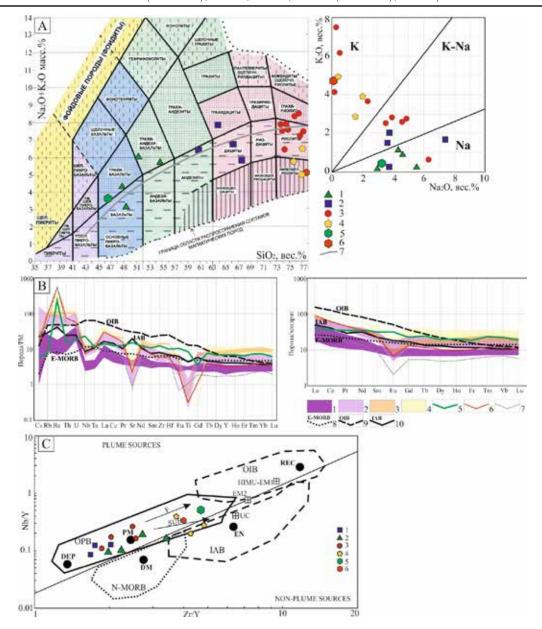


Рис. 5. Вещественный состав эффузивных и субвулканических образований рудного поля Змеиногорского месторождения: A – TAS-диаграмма (Na_2O+K_2O) — SiO_2 и диаграмма щелочности K_2O-Na_2O : I – SiO_2 и диаграмма щелочности SiO_2O 0 месторождения мельничной свиты эмса [8]: I – SiO_2O 0 диаграмма целочности и трахидациты, 3 — риолиты и трахириолиты; 4 — риолиты сосновской свиты живета; 5 — секущий штоково-дайковый долерит эйфеля; 6 — силлоподобный риолит эйфеля; 7— геохимический тренд вулканитов мельничной свиты. В— Мультиэлементные спектры (слева) и спектры распределения РЗЭ (справа): 1 и 2 – мельничная свита эмса: 1 – базальтоиды, андезиты, 2 - риолиты, трахириолиты; 3 и 4 - сосновская свита живета: 3 - лавы риолитов, 4 – туфы риолитов; 5 – секущий штоковый и дайковый долерит эйфеля; 6 – силлоподобный риолит эйфеля, 7 – вторичные микрокварциты. Реперные линии: 8 – E-MORB – обогащенные базальты COX, 9 — OIB — базальты океанических островов; 10 — IAB — базальты островных дуг. Нормирование на состав примитивной мантии и хондрита по (Sun, McDonough, 1989). C — Диаграмма Конди (Condie, 2005) в осях Nb/Y — Zr/Y для вулканитов Змеиногорского прогиба: 1-3 — мельничная свита эмса: 1 — базальтоиды; 2 — андезиты и дациты; 3 — риолиты; 4 – риолиты и сосновской свиты живета; 5 – штоково-дайковый долерит эйфеля; 6 – силлоподобный риолит эйфеля. N-MORB – базальты СОХ; ОРВ – базальты океанических плато; OIB – базальты океанических островов; IAB – базальты островных дуг. PM – примитивная мантия; DM – неглубокая деплетированная мантия; DEP – глубокая деплетированная мантия; EM1 и ЕМ2 – обогащенные мантийные источники; ЕN, обогащенный компонент; REC – переработанный компонент. Стрелки указывают на эффекты плавления (F) и субдукции (SUB)

Породы образуют две группы: одна из них (бо́льшая) тяготеет к OPB и PM, а другая располагается в правой части диаграммы, тяготея к EM-2. Точки располагаются конформно вектору F, отражающему эволюцию состава пород, обусловленную эффектами плавления магматического субстрата. Диаграмма, в частности, хорошо отражает обогащенность состава эйфельских долеритов компонентами EM-2 по сравнению с трахибазальтами раннего девона.

Результаты исследования и их обсуждение

1. Определение возраста зеленосланцевой корбалихинской толщи в 436–421 млн лет (S₁₋₂), а также практически полное сходство внешнего облика и вещественного состава с горноалтайской зеленосланцевой серией смежного региона [9] являются важными фактами для понимания истории и строения земной коры Рудного Алтая. Они свидетельствуют о том, что Рудноалтайский мегапрогиб закладывался на довольно мощной и зрелой гранитно-метаморфической коре, в строении которой, кроме каледонид, участвовали и более древние реликты коровых образований.

По одной из версий [10], зеленосланцевый вулканогенно-осадочный комплекс сводов Рудного Алтая (S_2 – D_1), к коим относится и Алейский свод, формируемый корбалихинской толщей, является возрастным аналогом менее преобразованных толщ Коргонско-Маркакольской дуги, а интенсивность метаморфизма в таком случае объясняется высоким тепловым потоком, проходящим через гнейсо-амфиболитовый фундамент.

2. Определение лохковского возраста туфов риолитов смежного со Змеиногорским Зареченского рудного поля (в 5 км к западу от ЗРП) с датировкой в 412±6 млн лет, в совокупности с ограниченно проявленными раннедевонскими трахибазальтами и трахиандезибазальтами – дацитами ЗРР, существенно меняют представления по стратиграфии, магматизму и тектонике раннедевонских событий. Раннедевонская деятельность начиналась не в эмсе накоплением лагунно-морских толщ мельничной свиты [1], а в лохкове и праге довольно мощным вулкано-тектоническим циклом с доминантой риолитового эксплозивного вулканизма. В ходе этого цикла получила заложение система ортогональных северсеверо-восточных и запад-северо-западных разломов, блоковые и приразломно-складчатые движения и сформировался первый раннедевонский вулкано-тектонический рельеф Змеиногорского прогиба, представленный купольными и обширными кальдерными морфоструктурами (рис. 2).

Последовавшая за этим эмская трансгрессия моря превратила этот рельеф, окаймлявший Алейский гранитно-метаморфический купол, в прибрежно-лагунную зону осадконакопления. Эмские отложения мельничной свиты формировались именно в подобных палеофациальных условиях, зачастую занимавших посткальдерные провалы, оставшиеся от массовых туфовых риолитовых извержений.

3. К началу эйфельских событий была сформирована общая структура ЗРП, представленная посткальдерной депрессией в поле развития эмской мельничной подсвиты (рис. 2), а также обрамляющей ее приподнятой кольцевой зоной, в которой проявлялись приразломно-складчато-блоковые деформации и кварцевый метасоматоз. В частности, в северной части кольцевой зоны сформировалась брахиантиклиналь и ее кварцитовое ядро, вмещающее барит-полиметаллические свинцово-цинковые руды Змеиногорского месторождения. Это подтверждается Аг-Аг датированием околорудных метасоматитов месторождения, возраст которых определен лохковским и в большей части эмским временем. В пользу эмского возраста руд свидетельствует также пересечение свинцово-цинковых руд в карьере месторождения дайкой долеритов эйфельского возраста.

Эмская толща ЗРП к началу эйфельских событий была существенно подроблена на блоки с амплитудой их смещения от десятков до 100 и более метров, создавшему довольно расчлененный рельеф, подверженный эрозии и выветриванию. В нынешнем положении в пределах ЗРП наиболее высокое гипсометрическое положение занимают горстообразные выступы зеленых сланцев, а также грубослоистых аргиллитомергелистых толщ мельничной свиты эмса. В частности, они слагают южный борт карьера Змеиногорского месторождения. По составу и строению они контрастируют с тонкослоистыми рыжевато-серыми туфами эйфеля, слагающими противоположный северный борт этого карьера (рис. 3, A, H).

4. В общей схеме рудогенеза Змеиногорского месторождения определенное место занимают кварцит-баритовые приразломные брекчии, приуроченные к запад-северо-западному разлому, срезающему крае-

вую юго-западную часть тела кварцитов. В качестве обломков брекчий выступают окварцованные породы эмской мельничной свиты, халцедоновидные кварциты и тонкозернистые кварциты (рис. 3, В). Цементом брекчий является барит от мелкозернистого агрегата до гигантозернистых пластинчатых кристаллов. В сторону интенсивно трещиноватой эмской толщи мельничной свиты отходят частые жилы баритового состава, содержащие вкрапленно-шлировое галенит-халькопиритовое оруденение, нередко окисленное.

Изучение состава барита из цемента брекчий и сульфидсодержащих жил позволило установить в нем промышленно значимые содержания благородных металлов. В 2000-х гг. О.М. Гриневым в барите без видимых сульфидов было установлено содержание Au от 1,18 до 115 г/т, Ag — от 33 до 550 г/т. Анализом ICP-MS в барите установлены (г/т): Au — 53—19,2; Ag — 491—885; Pd — 0,3—1,05; Pt и Ru — до первых сотен ppm [11]. Формирование баритовых брекчий завершило рудный процесс Змеиногорского месторождения.

- 5. Погруженные на разную глубину блоки эмской брахиантиклинали и тела кварцитов месторождения несогласно перекрыты туфами риолитов эйфеля, создавшими более сглаженный новый рельеф. Параллельно с формированием эйфельских туфов в пределах ЗРП шло внедрение силлов и даек риолитов и даек долеритов, особенно широко развитых в пределах посткальдерной депрессии и обрамляющей ее кольцевой зоны. Возраст их составляет 390-389 млн лет. В стратиграфической схеме [2] толща эйфельских риолитовых туфов отнесена к верхней подсвите мельничной свиты. Однако, учитывая резкое несогласие между эмской мельничной свитой и эйфельскими слоями туфов, логичнее эти слои рассмотреть в составе нижней подсвиты сосновской свиты, а согласно перекрывающие их слои риолитовых туфов с датировкой 384±7 млн лет (середина живета), представляющие, считать верхней подсвитой сосновской свиты.
- 6. Проведенное геохимическое изучение магматических и околорудных пород ЗРП позволило установить весьма важные их особенности, не известные широкому читателю. Основная суть полученных данных заключается в следующем.

Вулканиты между собой обнаруживают признаки генетического родства, но разные уровни содержания редких и редкоземель-

ных элементов, наиболее высокие в кислых членах ассоциации. Относительно реперов ОІВ и ІАВ спектры распределения микроэлементов не имеют удовлетворительного сходства за исключением некоторых пиковых значений, например, Nb—Та минимум, характерный для ІАВ. Для пород характерны низкие уровни содержания микроэлементов, за исключением Сs, Rb, Ва и Тh. Характерны также Еи минимум у пород кислого состава и весьма слабое превышение содержаний легких РЗЭ над средними и тяжелыми при общем низком уровне их содержаний.

Наибольшее совпадение по уровню и распределению микроэлементов наблюдается с репером E-MORB. Диаграмма La/Yb — Zr/Nb также подтверждает близость мельничных вулканитов к источнику E-MORB [8]. На диаграмме Конди в осях Nb/Y — Zr/Y (рис. 5, C) рой фигуративных точек изученных пород располагаются в поле плюмовых образований, в секторе OPB — PM, растянутом в направлении EM-2 смежного поля.

Таким образом, имеющиеся ограниченные данные, тем не менее, однозначно свидетельствуют о плюмовой нижнемантийной природе магматизма ЗРР. Мы предполагаем генерацию пород из двух разноглубинных очагов: мантийного, генерирующего трахибазальты, трахиандезибазальты, базальты; и корового, производящего крупные объемы лав и туфов кислого состава, главным образом риолитового. О наличии двух магматических очагов с формированием пород основного состава из более глубинного из них также говорится в работе [12], посвященной вулканизму смежного Лазурского рудного поля. Связующим звеном между этими очагами, как можно предположить, являлся мощный глубинный газово-флюидный поток, приносящий тепло плюма на уровни генерации магматических продуктов и соответствующее обогащение верхней коровой зоны флюидно-магматической колонны элементами рудного гидротермального комплекса мантийной и коровой природы.

Заключение

Наиболее объективно отражающей строение ЗРП является схема Ф.Н. Вьюнова и Ф.Д. Стаховича (1949), взятая за основу в настоящей работе. Геохимические и изотопно-геохимические исследования магматических и околорудных образований, играющих ключевую роль для расшифровки структуры и истории ЗРП и ЗРР, позволили значительно конкретизировать и допол-

нить данные предшественников. Основное значение при этом имеют следующие факты и вытекающие из них следствия:

- 1. Зеленосланцевые плойчато-тонкослоистые толщи западной части ЗРП и ряда других месторождений ЗРР геохимически и литологически почти идентичны зеленосланцевой горноалтайской серии. Они датируются силуром (436–421 млн лет) и слагают мощный каледонский цоколь додевонского этапа развития Рудно-Алтайского мегапрогиба.
- 2. Эмская история раннего девона ЗРП и ЗРР должна быть дополнена событиями и процессами лохковского и пражского веков, в ходе которых сформировались терригенновулканогенные толщи трахибазальтов-дацитов и доминирующих туфов риолитового состава. В связи с полученными датировками туфов риолитов возрастом 412±6 млн лет предлагается их, а также ограниченно развитые туфогенно-вулканогенные образования трахибазальт-дацитового состава отнести к нижней подсвите мельничной свиты. В совокупности с эмской лагунно-прибрежной подсвитой они представляют раннедевонский регрессивно-трансгрессивный вулканотектонический цикл ЗРР.
- 3. В эйфеле в Змеиногорском и Золотушинском прогибах проявляются процессы вулканизма и внедрения гипабиссальных интрузий преимущественно риолитового состава, характеризующиеся возрастом 390±8 млн лет, которые параллелизуются с плагиогранитами алейского комплекса: время становления и высокая степень геохимического сходства [13] говорит об их комагматичности.
- 4. На основании определения эйфельского возраста туфов риолитов, с угловым и стратиграфическим несогласием перекрывающих эмские отложения мельничной свиты, убрать из состава верхней подсвиты мельничной свиты и поместить в качестве нижней подсвиты в состав сосновской свиты эйфеля. Туфогенно-осадочную толщу нижней сосновской свиты живета, с определенным возрастом в 384±7 млн лет, считать верхней подсвитой сосновской свиты. В совокупности с вышележащей заводской трансгрессивной свитой они составляют среднедевонский регрессивно-трансгрессивный цикл 3РР.
- 5. На основании структурных взаимоотношений, особенностей размещения и Ar-Ar датирования, возраст оруденения ЗРП определяется как пражско-эмский. Это подтверждается также фактом пере-

- сечения эйфельской дайкой долеритов баритсодержащих галенит-сфалеритовых руд в карьере Змеиногорского месторождения. Наиболее поздним актом рудогенеза ЗРП является формирование кварцит-баритовых брекчий и связанных с ними баритовых жил с вкраплениями сульфидов и галогенидов серебра, содержащих промышленные содержания Au, Ag и некоторых платиноидов. Их можно рассматривать в качестве самостоятельного барит-благороднометалльного подтипа барит-полиметаллической формации Рудного Алтая.
- 6. Имеющиеся данные РФА и ICP-MS по ранне- и среднедевонским магматитам однозначно свидетельствуют о плюмовой природе магматизма ЗРР. В качестве основного источника исходных расплавов выступает примитивная мантия и обогащенная мантия (E-MORB). Это довольно неожиданно, учитывая крупные объемы изверженных туфов кислого состава – риолитов, трахириолитов (от тефры до лав). Как магматиты основного состав, так и кислого обладают геохимическими родственными чертами, тем не менее они вряд ли могут быть производными одного магмагенерирующего очага. При этом следует предполагать генерацию малых объемов основных пород из литосферной мантии, а крупнообъемных туфовых извержений – из вещества консолидированного корового слоя. Связывающим мостом между ними является специфический и мощный флюидный поток, как главный поставщик глубинного мантийного тепла и определенного набора вещества мантии и коры, сформировавшего как петро-геохимический облик магматитов, так и пневматолито-гидротермальных рудоносных систем.

Возможно, что магматизм Рудного Алтая согласно классификации Шеза [14] следует отнести к континентальной экструзивной крупной риолитовой провинции (LRPs) с незначительной ролью базитовой составляющей. Доминанта плюмовой производной магматизма ЗРР способна внести серьезные коррективы в существовавшие ранее представления о геодинамической позиции Рудно-Алтайского мегапрогиба, но после вовлечения в анализ более объемного блока данных по девонскому магматизму этой региональной структуры. Плюмовая природа магматизма Рудного Алтая является вполне вероятной в свете фактических данных о необходимости выделения девонского горячего поля мантии и соответствующей Рудно-Алтайской КИП Северной Евразии [15].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90036, а также в рамках Госзадания Минобрнауки РФ № 0721-2020-0041.

Список литературы

- 1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. 2-е изд. Серия Алтайская. Лист М-44-XI (Змеиногорск). Объяснительная записка / Составители: О.В. Мурзин, В.М. Чекалин, Н.В. Сыроежко, Л.И. Кочуркова, Н.В. Карташова, В.А. Жданов; ред.: Я.М. Гутак. СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕЕИ, 2001. 174 с.
- 2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. 2-е изд. Серия Алтайская. Лист М-44-XI (Змеиногорск). Объяснительная записка / Составители: С.И. Федак, Ю.А. Туркин, П.Ф. Селин, В.А. Кривчиков, Г.Г. Русанов, Л.П. Карабицина, Г.А. Поважук; редактор: В.М. Исаков. М. СПб., 2008. 263 с.
- 3. Чекалин В.М., Дьячков Б.А. Рудноалтайский полиметаллический пояс: Закономерности распространения колчеданного оруденения // Геология рудных месторождений. 2013. Т. 55. № 6. С. 513–532.
- 4. Чекалин В.М. Геолого-генетическая модель Змеиногорского золото-серебро-барит-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай) // Руды и металлы. 1996. № 6. С. 55–65.
- 5. Гармаш А.А. Особенности структуры Змеиногорского месторождения на Алтае // Основные вопросы и методы изучения структур рудных полей и месторождений. М.: Геолтехиздат, 1960. С. 566–581.
- 6. Куйбида М.Л. Базальтовый вулканизм системы островная дуга задуговый бассейн (алтайская активная окраина) // Тихоокеанская геология. 2019. Т. 38. № 3. С. 108-120.
- 7. Куйбида М.Л., Тимкин В.И., Кривчиков В.А., Мурзин О.В., Крупчатников В.И., Попова О.М., Крук Н.Н., Руднев С.Н., Куйбида Я.В., Шокальский С.П., Гусев Н.И., Комия Ц. (Котіуа Т.), Аоки Ш. (Аокі S.), Сун М. (Sun М.), Нарыжнова А.В. Среднепалеозойские риолиты Горного и Рудного Алтая: возраст и особенности состава // Доклады Академии наук. 2019. Т. 487. № 5. С. 532–537.

- 8. Гринёв О.М., Бестемьянова К.В., Гринёв Р.О. Морфоструктуры и вещественный состав эмс-раннеэйфельских вулканитов Змеиногорского рудного района (Рудный Алтай) // Петрология магматических и метаморфических комплексов: материалы IX Всероссийской петрографической конференции с международным участием (Томск, 28 ноября 2 декабря 2017 г.). Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2017. С. 118–127.
- 9. Семиряков А.С., Бестемьянова К.В. Проблема возраста терригенно-метаморфогенной корбалихинской толщи Змеиногорского рудного района (Рудный Алтай) // Азимут геонаук. Вып. 1: материалы Междисциплинарной молодежной научной конференции «Азимут ГЕОнаук 2020» (Томск, 18—19 ноября 2020 г.). Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2020. С. 89—92.
- 10. Козлов М.С. Условия формирования Рудноалтайской металлогенической провинции // Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57. № 4. С. 299–326.
- 11. Semiryakov A.S., Grinev O.M., Bestemyanova K.V., Grinev R.O. Mineralogy and prospect of noble metals of goldbearing ore breccias from ore fields of polymetallic deposits of Ore Altai // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 319. P. 1–9. DOI:10.1088/1755-1315/319/1/012018.
- 12. Серавина Т.В., Кузнецова С.В., Филатова Л.К. Особенности вещественного состава вмещающих пород и руд Лазурского рудного поля (Змеиногорский рудный район, Рудноалтайская минерагеническая зона) // Отечественная геология. 2021. № 3–4. С. 36–47. DOI:10.47765/0869-7175-2021-10020.
- 13. Куйбида М.Л., Крук Н.Н., Шокальский С.П., Гусев Н.И., Мурзин О.В. Надсубдукционные плагиограниты Рудного Алтая: возраст и особенности состава // Доклады Академии наук. 2015. Т. 464. № 3. С. 317–322.
- 14. Sheth H.C. «Large Igneous Provinces (LIPs)»: Definition, recommended terminology, and a hierarchical classification. Earth-Science Reviews. 2007. Vol. 85. P. 117–124. DOI:10.1016/j.earscirev.2007.07.005.
- 15. Гринёв О.М., Ярмолюк В.В., Эрнст Р.Э., Воронцов А.А. К проблеме выделения горячего поля мантии Северной Евразии // Динамика и взаимодействие геосфер Земли. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Том І. Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2021. С. 42–46.

УДК 550.4:546.44

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ МЕХАНИЧЕСКОЙ И РЕАГЕНТНОЙ ДЕЗАКТИВАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИЕМ ПОЧВ В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ

Рачкова Н.Г., Шапошникова Л.М.

Институт биологии ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», Сыктывкар, e-mail: nata.rachkova67@mail.ru

Изучены перспективы применения сепарации почвенных механических фракций (размер частиц 1-0,25 мм, 0,25-0,1 мм и меньше 0,1 мм), а также использования реагентных методов с целью дезактивации загрязненных радием-226 аллювиальных и подзолистых почв в Республике Коми. Экстракция реагентами (последовательно: дистиллированная вода; 1 моль/л ацетата аммония; 1 моль/л ацетата аммония (рН 5); 30% раствор пероксида водорода (рН 2); 0,1 моль/л гидрохлорида гидроксиламина в 25 %-ной уксусной кислоте; 0,2 моль/л гидроксида натрия) показала, что радионуклид в слое исследованных почв 0-40 см в основном депонирован в почвенном поглощающем комплексе. Суммарно от 32,3 до 76,5% радия-226 не экстрагируется из почвы использованными реагентами и извлекается только в сильнокислые растворы. В то же время заметная доля радионуклида (от 23 до 67% его активности) может быть вытеснена из почвы экстрагентами, имеющими нейтральный и слабокислый рН. Установлено также, что механическая фракция почвы с размером частиц меньше 0,1 мм характеризуется максимальной удельной активностью радия-226, достигающей 64 Бк/г. В этой фракции содержание радионуклида до 16 раз превышает таковое в крупнодисперсной части почв (1-0,25 мм) и до 7 раз превосходит удельную активность нефракционированной почвы. Сделано заключение о возможности частичной дезактивации исследованных почв путем сепарации почвенных частиц с размером меньше 1 мм и реагентными методами с использованием для экстракции радия-226 разбавленных растворов кислот, солей алюминия и железа.

Ключевые слова: почва, радий-226, дезактивация, удельная активность, формы нахождения, механическая фракция

EVALUATION OF PERSPECTIVES FOR MECHANICAL AND REAGENT DEACTIVATION OF SOIL CONTAMINATED WITH RADIUM IN THE KOMI REPUBLIC

Rachkova N.G., Shaposhnikova L.M.

Institute of Biology of FRC Komi Scientific Centre of Ural Branch of RAS, Syktyvkar, e-mail: nata.rachkova67@mail.ru

The prospects for use of separation of soil fractions with particle size (1-0.25 mm), (0.25-0.1 mm) and less than 0,1 mm, as well as use of reagent methods to decontaminate alluvial and podzolic soils contaminated of radium-226 in the Komi Republic were studies. Extraction with reagents (in sequence: distilled water; 1 mol/1 ammonium acetate; 1 mol/1 ammonium acetate (pH 5); 30% hydrogen peroxide solution (pH 2); 0,1 mol/1 hydroxylamine hydrochloride in 25% acetic acid; 0, 2 mol/1 sodium hydroxide) showed that radionuclide in (0-40 cm) soil layer was deposited in soil absorbing complex. In total, from 32,3 to 76,5% of the radium is not extracted by the reagents used and is extracted only into strongly acidic solutions. At the same time, a significant proportion of radium activity (from 23 to 67%) can be displaced by extractants with neutral and slightly acidic pH. The soil mechanical fraction with a particle size of less than 0,1 mm is characterized by maximum specific activity of radium-226, reaching 64 Bq/g. In this fraction, the content of the radionuclide is up to 16 times higher than that in the coarsely dispersed part of the soil (1-0.25 mm) and up to 7 times higher than activity of unfractionated soil. A conclusion was made about the possibility of partial decontamination of soils by separating of particles with a size of less than 1 mm and using for radium-226 extraction with dilute acid solutions, aluminum and iron salts.

Keywords: soil, radium-226, deactivation, specific activity, forms of occurrence, mechanical fraction

Актуальность работы обусловлена недостаточной разработкой научно-методических основ дезактивации почв и защиты природных экосистем от влияния радиоактивных загрязнений [1–3]. Практический аспект исследований определен необходимостью обеспечения радиоэкологической безопасности регионов России, промышленный сектор которых включает радиохимические производства, добычу органического топлива, редких и цветных металлов.

Цель исследования — изучение закономерностей дезактивации почв Республики Коми, загрязненных радием-226, с применением физических и химических методов.

Материалы и методы исследования

Почвы отбирали в июле 2020 г. в северотаежной подзоне Республики Коми (Ухтинский район) на территориях, где с 1931 по 1956 г. добывали радий из подземных вод нефтяных месторождений.

 Таблица 1

 Краткое описание почвенных образцов в районе радиоактивного загрязнения

№ участка	Географические координаты крайних точек на участке	№ образцов	Описание места отбора
1	63°31'37.0"сш 53°26'05.0"вд 63°31'41.0" сш 53°26'08.0" вд 63°31'59.0" сш 53°26'18.0" вд	1, 2, 3, 4 5, 6, 7	Аллювиально-дерновая почва, рекреационная зона в районе, на поверхности до 1100 мкР/ч
2	63°29'40.5» сш 53°25'32.8» вд 63°29'39.0» сш 53°25'21.9» вд 63°29'36.8» сш 53°25'32.3» вд	8, 9, 10	Эмбриозем на аллювиально-дерновой почве, селитебная зона в районе, на поверхности до 1100 мкР/ч
3	63°30'04.11» сш 53°24'49.41» вд 63°30'07.19» сш 53°24'59.54» вд 63°30'11.0 « сш 53°25'04.17» вд	11, 12, 13, 14	Эмбриозем на подзоле иллювиально-железистом, селитебная зона в районе, на поверхности до 100 мкР/ч
4	63°28'30.15» сш 53°27'51.89» вд 63°28'30.10» сш 53°27'57.37» вд 63°28'24.29» сш 53°27'57.40» вд	15	Подзол иллювиально-железистый, рекреационная зона в районе, на поверхности до 1000 мкР/ч

По составу они являлись бессульфатными хлоридно-натриевыми кальциевыми рассолами. Разлив на земной поверхности этих вод и жидких производственных отходов с повышенным содержанием радионуклида обусловил неравномерное по площади и профилю почв радиоактивное загрязнение на участках бывших химических заводов. Район их расположения приурочен к северо-восточному склону Южного Тимана, вблизи его перехода в Печорскую депрессию. На локализациях загрязнения радиационный фон варьируется от 30 до 1100 мкР/ч. Были исследованы почвы четырех таких участков площадью до 2 га (табл. 1). Характерные для них почвы представлены подзолами иллювиально-железистыми и почвами аллювиального типа. Структура почв сильно нарушена техногенной деятельностью.

Содержание радия-226 в загрязненных почвах района достигает 120 Бк/г [4], что до 12 раз выше норматива минимально значимой удельной активности радия-226 (УА) [5]. Загрязнены в основном верхние горизонты почв глубиной до 40 см, поэтому для исследования отбирали образцы из этого слоя. Пробы очищали от камней и корней, затем изучали формы нахождения радия-226 и вклад механических фракций почвы в уровень ее радиоактивности.

Для этого отобранные почвенные образцы предварительно взвешивали и последовательно просеивали через металлические сита 1; 0,25 и 0,1 мм. Полученные механические фракции почвы с размерами частиц (1–0,25 мм), (0,25–0,1 мм) и «меньше 0,1 мм» взвешивали, рассчитывали их долю в почвенной массе. Формы нахождения радия в почве изучали методом экстрагирования (последовательно: дистилли-

рованная вода, 1 моль/л ацетата аммония с рН 7 и 5, 0,1 моль/л гидрохлорида гидроксиламина в 25%-ной уксусной кислоте, 30% пероксид водорода (рН 2), 0,2 моль/л гидроксида натрия) [4] на примере образцов, нефракционированных по механическому составу. Соотношение массы почвы и объема экстрагента – 1:10, время контакта фаз – 24 ч, за исключением экстракции дистиллированной водой (1 ч). Остатки почвы после экстрагирования считали формой нахождения «нерастворимая». Рассчитывали долю (%) форм нахождения в валовой УА радия-226. Содержание радионуклида в образцах определяли в аккредитованной лаборатории миграции радионуклидов и радиохимии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (аттестат РОСС RU.0001.21РК70) прямым измерением на гамма-спектрометре [6].

Результаты исследования и их обсуждение

УА радия-226 в 15 образцах загрязненных подзолов и аллювиально-дерновых почв, отобранных в районе исследования, достигали значений, которые в несколько тысяч раз больше фоновых показателей для почв Республики Коми (9–13 мБк/г [7]) (рис. 1). УА радия-226 в образцах 1-4 аллювиально-дерновой почвы, взятых для изучения форм нахождения радионуклида, составила от 0,6 до 8,3 Бк/г. Результаты экстрагирования показали (табл. 2), что по относительному содержанию радия-226 среди экстрактов, которым соответствовали формы нахождения «водорастворимая», «обменные», «карбонаты», «полуторные оксиды и гидроксиды», «органическое вещество», «аморфные силикаты», доминируют фракции «обменные», «карбонаты» и «полуторные оксиды и гидроксиды».

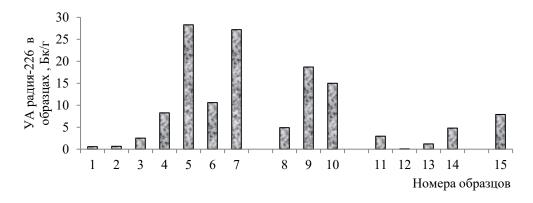


Рис. 1. Валовая УА радия-226 в образцах 1–15, Бк/г почвы

 Таблица 2

 Формы нахождения радия-226 в загрязненной аллювиально-дерновой почве района

	Доля	ждения ради	дионуклида, % от его валовой УА в почве									
№ образца	да водораст- обменная карбонаты		обменная карбонаты полуторные органи- аморфн силикат		сиды и		нераство- римая					
1	0,7	41,4	25,6	20,5	3,6	0,4	7,8					
2	0,5	20,6	26,6	15,8	5,6	1,3	29,6					
3	0,1	14,4	9,0	20,0	6,0	0,3	50,2					
4	не обнаружено	5,3	18,5	5,3	1,4	0,1	69,4					

Суммарная доля радия в формах нахождения, экстрагируемых нейтральными и слабокислыми экстрагентами («водорастворимая», «обменные», «карбонаты»), составила от 23 до 67% его валовой УА в почве, что свидетельствует о возможности ее частичной дезактивации методами, сохраняющими почвенное плодородие, в частности путем создания геохимических барьеров из ионообменных материалов или применения элюентов, содержащих обменные катионы с большей вытеснительной способностью по сравнению с радием. Данные о 4-кратном снижении УА грунтов со сходным уровнем радиоактивности после проведения реагентной дезактивации растворами солей железа и алюминия имеются в литературе [1, 2]. Формы нахождения «водорастворимая», «обменные», «карбонаты» характеризовались существенной вариабельностью относительного содержания радия. По-видимому, она связана с зависимостью его подвижности в почвах от валовой УА [4] и с высокой интенсивностью трансформации отдельных групп соединений радионуклида в почве. Доля водорастворимых форм радия-226 во всех образцах была минимальна и изменялась от 0,1 до 0,7%. В то же время относительное содержание форм нахождения «обменные» при близких уровнях радиоактивного загрязнения почв (образцы 1 и 2) отличалось в два раза и было значительным (соответственно 20,6 и 41,4% валовой УА радионуклида). Такая высокая вариабельность показателей может объясняться функциональной связью изменения форм нахождения радия и других щелочноземельных элементов, являющихся активными участниками и маркерами почвообразовательных процессов. Это подтверждено данными литературы [8-10] и основано на аналогии химических свойств элементов одной группы Периодической системы. Так, в работе [8] показано влияние содержания поглощенных катионов кальция и магния на распределение радия в профиле аллювиально-дерновой почвы исследуемого района. Сходная зависимость выявлена для случаев загрязнения радием-226 таежной подзолистой почвы [9], в профиле которой дифференциация радионуклида контролируется распределением соединений кальция, а подвижность - определяется взаимодействием соединений железа и кальция.

Заметим, что в исследуемых нами загрязненных почвах форма нахождения «полуторные оксиды и гидроксиды», экс-

трагируемая уксуснокислыми растворами гидрохлорида гидроксиламина, также вносила существенный вклад в геохимическую подвижность и валовую УА радия-226. Доля этой формы нахождения в разных образцах составила 5,3-20,5% от валового содержания радионуклида (табл. 2). Анализ целостной картины распределения радия-226 по формам нахождения в исследованных грунтах свидетельствовал, что как минимум одна треть его содержания (32,3-76,5%) находится в почве в виде соединений, трудно экстрагируемых и неэкстрагируемых из почвенного поглощающего комплекса. Суммарная доля этих форм нахождения в случае трех из четырех исследованных образцов насчитывает более половины содержания радионуклида. Без применения агрессивных реагентов очистка почвы от этой компоненты радиоактивного загрязнения невозможна, что доказывается, в частности, низкой результативностью применения некоторых механических способов дезактивации подобных почв [4]. К их эффективной очистке может привести растворение трудно экстрагируемой и неэкстрагируемой компонент содержания радионуклида, например, в результате обработки загрязненного грунта в фильтрационном режиме и при нагревании раствором 1-2 моль/л азотной кислоты [1]. Однако подобные подходы вряд ли оправданы с экологической точки зрения: теряется плодородие почв, образуются большие объемы вторичных радиоактивных материалов с сильнокислым рН.

Рациональнее, на наш взгляд, снижение уровня радиоактивности почвы путем отделения ее механических фракций с высокой УА радия-226. Для 11 почвенных образцов (подзол иллювиально-железистый и аллювиально-дерновая почва) из разных

локализаций радиоактивного загрязнения, отобранных нами для выполнения этой задачи, была установлена валовая УА радия-226 от 0,09 до 28,3 Бк/г. Согласно полученным данным (рис. 2), во всех случаях максимальная УА радия-226 была характерна для фракции почвы с размером частиц меньше 0,1 мм, что может быть связано с их большой удельной площадью поверхности и с содержанием в них минералов, способных к межпакетной сорбции катионов. В случае образца 10 (участок 2) УА радионуклида в этой механической фракции аллювиальнодерновой почвы достигала максимального значения (64 Бк/г), которое превышало содержание радионуклида во фракции 1-0,25 мм в 16 раз. Данная локализация радиоактивного загрязнения (образцы 8–10) характеризовалась наибольшей среди других участков средней УА радия-226 во фракции «меньше 0,1 мм» (48 Бк/г). В некоторых случаях (образец 8) УА радия-226 в ней до 7 раз превышала валовую УА радионуклида в нефракционированной по механическому составу пробе. Крупнодисперсная (1-0,25 мм) фракция исследованных почвенных образцов в основном имела самое низкое содержание радионуклида. Аналогичным образом радий-226 был распределен в почвах других локализаций, за исключением проб 5, 6 и 8, в которых его УА во фракции 1-0,25 мм незначительно превышала таковую в 0,25-0,1 мм.

Для эффективной дезактивации почвы путем сепарации некоторых ее механических фракций важен как уровень их радиоактивности, так и доля отделяемых частиц в почвенной массе. Согласно полученным данным, для мелкодисперсной фракции она варьировала в случае разных образцов от 2 до 35%, достигая максимальных значений в случае пробы 15 с почвой, классифицируемой как подзол иллювиально-железистый (рис. 3).

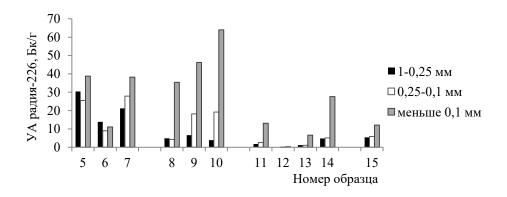


Рис. 2. УА радия-226 в механических фракциях почв, Бк/г

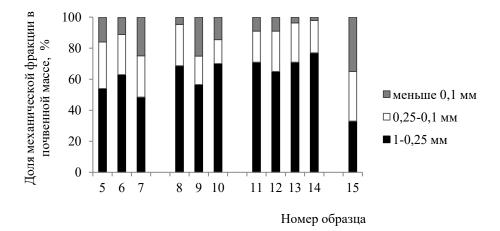


Рис. 3. Доля механических фракций в почвенной массе, %

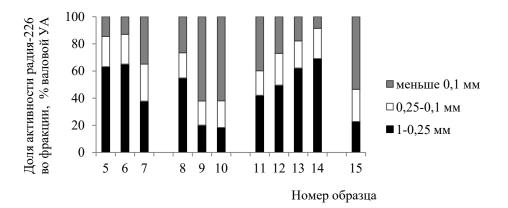


Рис. 4. Вклад механических фракций почвы в валовую VA радия-226 (с учетом доли фракции в почвенной массе), %.

Для других грунтов доля фракции в почвенной массе не превышала 25%. Для локализации радиоактивного загрязнения в селитебной зоне района с грунтами, образованными также на подзоле (образцы 11–14), было установлено самое низкое содержание фракции «меньше 0,1 мм» (в среднем 5,9%). Здесь в почвенную массу существенный вклад вносила крупнодисперсная фракция почвы (1-0,25 мм), средняя доля которой в почвенной массе отвечала 71%. Различия механического состава почв со сходными условиями почвообразования, по-видимому, объясняются влиянием факторов техногенного характера.

Если в дальнейшем при оценке вклада выделенных механических фракций в уровень загрязнения почвы радием-226 учесть их долю в почвенной массе, то оказывается, что в сегменте частиц «меньше 0,1 мм» сосредоточено от 8,6 до 62,1% активности

радионуклида (рис. 4). Содержание радия-226 сильно отличалось не только для проб с разных локализаций, но и для образцов с одной производственной площадки. То же самое было свойственно фракции 1–0,25 мм (18,4–69,2%). В то же время вклад фракции частиц среднего размера (0,25–0,1 мм) в УА радия-226 в почве варыровал сравнительно слабо (18–27%).

В любом случае доля УА радия-226 во фракции «меньше 0,1 мм» во всех исследованных образцах была значительна. В среднем в образцах двух локализаций (участки 1 и 3) она содержала более 20% активности радия-226 (20,8 и 23,4% соответственно), а в пробах двух других производственных площадок (участки 2 и 4) – свыше 50% активности радионуклида (50,2 и 53,5%). В отношении образцов 9, 10 и 15 за счет сепарации фракции почвы «меньше 0,1 мм» возможно снижение содержания радия на 53,5–62,1%.

Выводы

- 1. В лабораторном эксперименте изучены перспективы применения сепарации почвенных механических фракций, а также использования реагентных методов с целью дезактивации от радия-226 аллювиальных и подзолистых почв некоторых локальных радиоактивно-загрязненных участков в северотаежной подзоне Республики Коми.
- 2. Установлено, что в слое почв (0–40 см) с УА до 28,3 Бк/г радионуклид преимущественно депонирован в фиксированных и геохимически малоподвижных формах нахождения. Не экстрагируется из исследованных почв и извлекается в сильнокислые среды в сумме не менее одной трети содержания радия-226. В 75% случаев доля этих форм нахождения составляет свыше половины от валовой УА радионуклида в почве.
- 3. Заметная часть активности радия-226 (от 23 до 67% его валовой УА) из почв разных локализаций может быть извлечена экстрагентами с нейтральным и слабокислым рН, что позволяет прогнозировать высокую эффективность дезактивации почв щадящими методами с сохранением почвенного плодородия, в частности путем применения элюентов, содержащих обменные катионы железа и алюминия.
- 4. Для уменьшения уровня радиоактивности исследованных почв целесообразно предварительно отделить ее механическую фракцию с размерами частиц меньше 0,1 мм. В условиях эксперимента она характеризовалась максимальной УА радия-226 (64 Бк/г). Относительное содержание радионуклида в ней превышало до 16 раз таковое в крупнодисперсной части почвы (1-0,25 мм) и до 7 раз – в почве, не фракционированной по размеру частиц. В образцах с двух загрязненных участков фракция содержала в среднем свыше 20%, а в пробах двух других производственных площадок – 50% валовой УА радионуклида в почвах.

5. Относительные содержания радия-226 в сегменте частиц меньше 0,1 мм значительно отличаются для разных проб, что обусловлено влиянием техногенных факторов на почвы.

Исследования выполнены в рамках госзадания Института биологии Коми НЦ УрО РАН с частичной поддержкой гранта РФФИ и Правительства Республики Коми № 20-45-110009.

Список литературы

- 1. Склифасовская Ю.Г. Физико-химическое обоснование реагентной дезактивации грунтов, загрязненных α -излучателями. автореф. дис. ... канд. хим. наук. Москва, 2012. 27 с.
- 2. Sklifasovskaja J.G., Nikolayevskii V.B., Prozorov L.B. Reagent treatment of ²²⁶Ra-contaminated soils in the dynamic mode. Radiochemistry. 2009. Vol. 51. No. 4. P. 418–421. DOI: 10.1134/S1066362209040183.
- 3. Никулина У.С., Чижевская С.В. Отечественный опыт очистки почвогрунтов от техногенных радионуклидов // Успехи в химии и химической технологии. 2015. Т. XXIX. № 6. С. 93–94.
- 4. Rachkova N.G., Shaposhnikova L.M. Speciation of radium-226 in the components of terrestrial and aqueous northern taiga ecosystems in a former radium production site. Geochemistry International. 2020. Vol. 58. No. 6. P. 719–728. DOI: 10.31857/S0016752520050106.
- 5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.
- 6. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс» (Свидетельство об аттестации МВИ № 40090.3H700 от 22.12.2003).
- 7. Beznosikov V.A., Lodygin E.D., Shuktomova I.I. Artificial and natural radionuclides in soils of the southern and middle taiga zones of Komi republic. Eurasian Soil Science. 2017. Vol. 50. No. 7. P. 814–819. DOI: 10.1134/S1064229317050039.
- 8. Shaposhnikova L.M. Phytoabsorption of radium-226 from technogenically contaminated soils by the example of Chamaenerion angustifolium, Lathirus pratensis and L. vernus. Theoretical and Applied Ecology. 2018. No. 4. P. 53–60. DOI: 10.25750/1995-4301-2018-4-053-060.
- 9. Рачкова Н.Г., Шапошникова Л.М. Моделирование подвижности радия-226 по данным его профильного распределения в загрязненной подзолистой почве // Успехи современного естествознания. 2021. № 10. С. 69–74. DOI: 10.17513/use.37700.
- 10. Шутов В.Н. Ионный обмен и миграция щелочноземельных элементов в системе почва – растение: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1982. 24 с.

СТАТЬИ

УДК 622.772:544.723

РЕГЕНЕРАЦИЯ КАТИОНИТА В ПРОЦЕССЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ РАСТВОРОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Белова Т.П.

ФГБУН Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, Петропавловск-Камчатский, e-mail: tpbel@yandex.ru

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по концентрированию растворов бактериально-химического выщелачивания медно-никелевых руд с применением сорбционного метода. Насыщение сорбционных колонн с катионитом КУ-2-8 в водородной либо натриевой формах проводили при варьировании скорости потока от 1 до 5 мл/мин и высоты поглощающего слоя от 10 до 30 см. Десорбцию осуществляли раствором 10% серной кислоты, чередуя статический и динамический режимы. Применение статического режима приводит к экономии десорбента на уровне 20%. Удельный расход кислоты составил 10 г-экв/г-экв целевого металла. Установлено, что натриевая форма сульфо-катионита КУ-2-8 имеет большую сорбционную емкость по сравнению с водородной формой. Следствием этого является и большее солесодержание в концентратах. За один цикл сорбции-десорбции получены концентраты цветных металлов с общим солесодержанием более 15 г/л. При десорбции колонн h = 30 см, нагруженных при скорости потока Q = 5 мл/мин, получены растворы с суммарным солесодержанием 14,13 и 16,93 г/л, коэффициенты концентрирования составляют 8,4-10,5 и 10,8-11,9 для водородной и натриевой форм по каждому компоненту соответственно. Несмотря на лучшие показатели сорбции-десорбции натриевой формы катионита КУ-2-8, применение водородной формы более технологично, так как процесс десорбции является, по сути, процессом регенерации и нет необходимости вводить в технологический цикл дополнительные операции и реагенты, такие как хлорид натрия. При использовании водородной формы катионита для концентрирования растворов цветных металлов в качестве десорбента могут быть использованы элюаты, полученные при сорбции до проскока, которые представляют собой растворы серной кислоты.

Ключевые слова: катионит, сорбция, десорбция, регенерация, цветные металлы

CATION EXCHANGER REGENERATION IN CONCENTRATION OF NON-FERROUS METALS SOLUTIONS

Belova T.P.

Federal State Budgetary Scientific Institution Scientific Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatskiy, e-mail: tpbel@yandex.ru

The article presents the results of experimental studies on concentration of solutions of bacterial-chemical leaching of copper-nickel ores by the sorption method. Saturation of sorption columns with the cation exchanger KU-2-8 in hydrogen or sodium forms was carried out by varying the flow rate from 1 to 5 ml/min and the height of the absorbing layer from 10 to 30 cm. The desorption was carried out with a solution of 10% sulfuric acid switching between static and dynamic modes. The use of the static mode resulted in a desorbent saving at the level of 20%. Specific acid consumption was $10\ g$ -eq/g-eq of the target metal. It was found that the sodium form of sulfo-cationite KU-2-8 had a higher sorption capacity compared with the hydrogen form, which resulted in higher salt content in concentrates. Concentrates of non-ferrous metals with total salt content more than $15\ g$ /l were obtained during one adsorption-desorption cycle. At columns desorption (h = $30\ cm$) loaded at a flow rate Q = $5\ m$ l/min, the solutions with the total salt content of 14, $13\ and 16$, $93\ g$ /l were obtained. Concentration ratios constituted 8,4-10,5 and 10,8-11,9 for hydrogen and sodium forms for each component, respectively. Despite the better adsorption-desorption indexes of the cation exchanger KU-2-8 sodium form, application of its hydrogen form is more technologically convenient as the desorption process is essentially a regeneration process and there is no need to introduce additional operations and reagents, such as sodium chloride, into the technological cycle. When using the hydrogen form of the cation exchanger to concentrate non-ferrous metals solutions, the eluates obtained by sorption before the slip, which are sulfuric acid solutions, can be used as desorbent.

 $Keywords: cation\ exchanger,\ sorption,\ desorption,\ regeneration,\ non-ferrous\ metals$

К настоящему времени известно большое количество гидрометаллургических методов для переведения цветных металлов, таких как медь, никель, кобальт, из рудного сырья в раствор. По некоторым оценкам, на долю гидрометаллургической переработки медно-никелевых руд приходится порядка 20% от общего объема производства. Ожидаемо, что ввиду более низкой энергоемкости, по сравнению с пирометаллургическими методами переработки мед-

но-никелевых руд, доля гидрометаллургии будет возрастать. Эти методы отличаются используемыми реагентами и условиями проведения процесса выщелачивания. В зависимости от типа рудного материала — окисленные это руды или сульфидные — реагентами выщелачивания служат различные индивидуальные минеральные кислоты или многокомпонентные смеси. Так, для выщелачивания окисленных медно-никелевых руд часто применяют растворы серной, со-

ляной и других кислот, раствор карбоната аммония. Для выщелачивания сульфидных руд требуется добавлять окислитель, в качестве которого часто используют растворы трехвалентного железа. Для низкосортных руд используют бактериальное выщелачивание. Так как скорость бактериального выщелачивания мала, а накопление ценного компонента в продуктивном растворе еще более замедляет процесс выщелачивания, возникает необходимость отвода продуктивного раствора из зоны реакции. Концентрирование продуктивных растворов целесообразно проводить сорбционными методами. Для концентрирования ионов цветных металлов используют различные типы сорбентов: органические смолы [1], такие как сульфо-катиониты [2], карбоксильные катиониты либо минеральные сорбенты, такие как цеолиты [3]. Сорбционная емкость сульфо-катионитов обычно составляет 1,8–1,9 моль-экв/л сорбента. Возможность применения минеральных сорбентов ограничивается сравнительно невысокой обменной емкостью, и их применение обосновано для низко концентрированных растворов, обычно это содержание менее 100 мг/л [4]. Важным является процесс регенерации сорбентов, так как это и затраты времени, и расход реактивов [5, 6]. Вопросам регенерации сорбентов посвящено большое количество исследований. Так, например, проведено сравнение регенерации КУ-2-8 растворами таких кислот, как серная, соляная, азотная [7].

Цель настоящей работы — оптимизировать регенерацию ионообменных сорбентов при сорбционном концентрировании растворов цветных металлов, полученных в результате бактериально-химического выщелачивания сульфидных медно-никелевых руд.

Материалы и методы исследования

Для первичной переработки продуктивных растворов, содержащих одновременно медь, никель и кобальт, был применен сорбционный метод с использованием промышленного сульфо-катионита КУ-2-8 в водородной и натриевой формах. Сорбционные колонны с диаметром 1,2 см были заполнены катионообменной смолой КУ-2-8, высота сорбента составляла 10, 20 и 30 см, всего было приготовлено 18 колонок, из них 9 колонок с водородной формой сорбента и 9 колонок с натриевой формой. Колонны были насыщены ионами меди, никеля и кобальта путем пропускания через них мо-

дельного раствора, содержащего указанные катионы цветных металлов в концентрациях на уровне 500±50 мг/л каждого компонента. Насыщение проводили с различной объемной скоростью потока элюента — 1, 3 и 5 мл/мин — до того момента, когда в трех последних пробах концентрация цветных металлов на выходе из колонки оставалась приблизительно одинаковой, после чего дополнительно пропускали еще по 5–7 колоночных объемов. При этом суммарная сорбционная емкость нарастала незначительно.

Затем проводили десорбцию, используя 10% раствор серной кислоты, чередуя статический и динамический режимы. Для этого нагруженные колонки заполняли раствором десорбента и выдерживали в статическом режиме в течение 30 мин, после этого открывали вентиль и собирали элюат в мерные колбы объемом 25 мл, контролируя содержания ионов металлов атомно-абсорбционным методом, используя атомно-абсорбционный спектрофотометр AA-6300 (Shimadzu, Япония).

Результаты исследования и их обсуждение

При насыщении колонок, содержащих различное количество сорбента с различной скоростью потока элюента, получены зависимости емкости катионита от высоты поглощающего слоя и от скорости потока. Максимально достигнутая емкость сорбентов приведена в таблице. В таблице приводятся данные по суммарной сорбционной емкости и по емкости сорбента по каждому компоненту в отдельности, как для водородной, так и для натриевой форм.

Отметим, что суммарная сорбционная емкость снижается при увеличении скорости потока при сорбции на водородной форме сорбента и увеличении высоты поглощающего слоя. При этом минимальная суммарная емкость 2,678 мг-экв/г обнаружена при высоте столба 30 см и скорости потока 5 мл/мин. Максимальная — 3,188 мг-экв/г — при высоте столба сорбента 10 см и скорости потока 1 мл/мин. Разница между максимальной и минимальной сорбционными емкостями составляет 19%. Более стабильно ведет себя натриевая форма.

Десорбцию проводили серной кислотой, чередуя статический и динамический режимы. В результате десорбции выделены концентраты. Сравнительная характеристика концентратов приведена в таблице. Динамика десорбции сульфо-катионита показана на рис. 1 и 2.

Зависимость сорбционной емкости катионита КУ-2-8 и солесодержания концентратов десорбции от высоты потомы потока О насыщения и фолмы сомбента

св/г Десорбция. Состав концентрата, г/л	Co^{2+} Cu^{2+} Ni^{2+} Co^{2+}		1,248 2,20 2,34 2,07	1,059 3,09 3,33 3,13	1,024 4,69 4,79 4,47	1,208 2,69 2,62 2,93	1,129 3,26 3,45 3,30	1,142 4,40 4,69 4,06	1,096 2,80 3,35 2,88	1,040 3,16 3,57 3,86	0,943 4,18 4,72 5,23		1,101 2,29 2,33 1,63	1,104 3,99 3,05 3,90	1,228 5,70 5,80 5,36	1,077 2,36 3,61 3,00	1,184 3,79 4,35 4,20	1,064 4,93 5,01 5,64	1,077 3,25 3,21 3,26	
. Состав концен	Ni^{2+}	-	2,34	3,33	4,79	2,62	3,45	4,69	3,35	3,57	4,72		2,33	3,05	5,80	3,61	4,35	5,01	3,21	
Десорбция	Cu^{2+}	-	2,20	3,09	4,69	2,69	3,26	4,40	2,80	3,16	4,18		2,29	3,99	5,70	2,36	3,79	4,93	3,25	
	Co ²⁺	-	1,248	1,059	1,024	1,208	1,129	1,142	1,096	1,040	0,943		1,101	1,104	1,228	1,077	1,184	1,064	1,077	
кость, мг-экв/г	$ m Ni^{2+}$	Н-форма	1,072	1,012	1,231	0,966	0,910	0,971	1,020	868'0	1,003	Na-форма	1,146	1,121	1,231	1,052	1,157	1,144	1,187	, , ,
Сорбционная емкость, мг-экв/г	Cu ²⁺	ф-Н	0,868	666'0	1,037	0,975	966,0	0,837	0,914	0,783	0,732	Na-φ	0,911	0,961	1,166	1,047	1,012	6,995	1,041	0,00
	Суммарная		3,188	3,071	3,099	3,156	3,035	2,950	3,030	2,720	2,678		3,158	3,186	3,625	3,176	3,354	3,203	3,305	0
,	h, см			10			20			30				10			20			o c
	О, мл/мин	-	1	3	5	1	3	5	1	3	5		1	3	5	1	3	5	1	,
	№ колонны	_	1	2	8	4	5	9	7	~	6		10	11	12	13	14	15	16	,

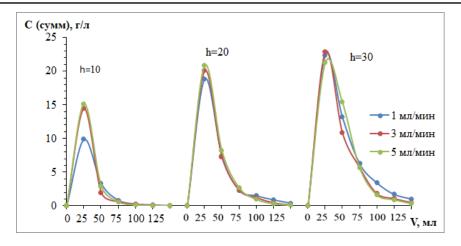


Рис. 1. Кривые элюирования цветных металлов раствором серной кислоты из колонок с катионитом КУ-2-8 в H-форме, высотой 10, 20 и 30 см, нагруженных с различной скоростью — 1, 3 и 5 мл/мин

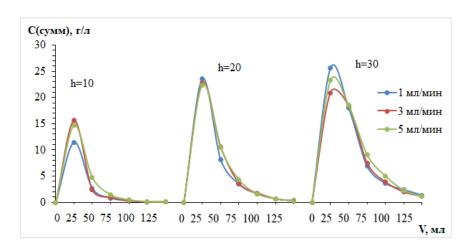


Рис. 2. Кривые элюирования цветных металлов раствором серной кислоты из колонок с катионитом КУ-2-8 в Na-форме, высотой 10, 20 и 30 см, нагруженных с различной скоростью – 1, 3 и 5 мл/мин

Обращает на себя внимание тот факт, что выходные кривые имеют приблизительно одинаковую форму вне зависимости от высоты слоя сорбента и скорости потока элюента. Однако ширина пиков увеличивается при увеличении высоты слоя, и асимметрия становится более ярко выраженной. При десорбции колонн, первоначально имевших Na-форму, это явление проявляется сильнее. После выделения концентрата (обычно это 3—4 колоночных объема) растворы элюирования еще имеют значительные содержания ионов цветных металлов на уровне 100—300 мг/л и должны быть направлены на повторную сорбцию.

На графике (рис. 3) представлена зависимость солесодержания в концентрате десорбции от высоты слоя и скорости потока при насыщении сорбционных колонн. Максимальное солесодержание получено при десорбции колонн с Na-формой сорбента, высотой 30 см, насыщенных цветными металлами. Но в этом случае невозможно провести регенерацию сорбента в одну стадию. Сначала проводят десорбцию с одновременной регенерацией в водородную форму, а затем осуществляют перевод сорбента в Na-форму, применяя 10% раствор хлорида натрия.

Учитывая, что сорбционная емкость Nа-формы катионита превышает емкость Н-формы, растворы десорбции тоже получились более концентрированные, исключение наблюдается только для кобальта в составе раствора, полученного при десорбции колонны с высотой поглощающего слоя равной 10 см и скорости насыщения 1 мл/мин.

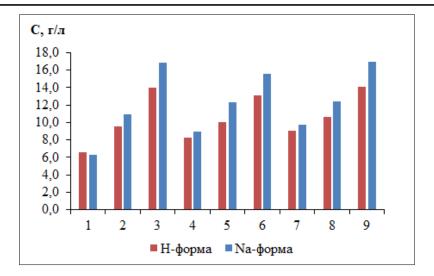


Рис. 3. Зависимость солесодержания в концентрате десорбции от высоты слоя и скорости потока при насыщении сорбционных колонн: 1-3 – скорость насыщения 1 мл/мин, 4-6-3 мл/мин, 7-9-5 мл/мин; 1, 4, 7 – высота слоя 10 см, 2, 5, 8-20 см, 3, 6, 9-30 см

При десорбции колонн № 1 и № 10 (h = 10 см, Q = 1 мл/мин) получаем раствор с суммарным солесодержанием 6,61 и 6,25 г/л, коэффициенты концентрирования составляют 4,1–4,7 и 3,3–4,7 для водородной и натриевой форм по каждому компоненту соответственно. При десорбции колонн № 2 и № 11 (h = 10 см, Q = 3 мл/мин) получаем раствор с суммарным солесодержанием 8,24 и 8,97 г/л, коэффициенты концентрирования составляют 5,2–5,9, и 4,7–7,2 для водородной и натриевой форм по отдельным компонентам соответственно.

При десорбции колонн № 3 и № 12 (h = 10 см, Q = 5 мл/мин) получаем раствор с суммарным солесодержанием 9,03 и 9,72 г/л, коэффициенты концентрирования составляют 5,6–6,7 и 6,4–6,5 для водородной и натриевой форм по каждому компоненту соответственно.

При десорбции колонн № 4 и № 13 (h = 20 см, Q = 1 мл/мин) получаем раствор с суммарным солесодержанием 9,55 и 10,94 г/л, коэффициенты концентрирования составляют 6,2–6,7 и 6,1–8,0 для водородной и натриевой форм по каждому компоненту соответственно. При десорбции колонн № 5 и № 14 (h = 20 см, Q = 3 мл/мин) получаем раствор с суммарным солесодержанием 10,01 и 12,34 г/л, коэффициенты концентрирования составляют 6,5–6,9 и 7,6–8,7 для водородной и натриевой форм по отдельным компонентам соответственно. При десорбции колонн № 6 и № 15 (h = 20 см,

Q = 5 мл/мин) получаем раствор с суммарным солесодержанием 10,59 и 12,38 г/л, коэффициенты концентрирования составляют 6,3–7,7 и 7,8–9,1 для водородной и натриевой форм по каждому компоненту соответственно.

При десорбции колонн № 7 и № 16 (h = 30 см, Q = 1 мл/мин) получаем раствор с суммарным солесодержанием 13,95 и 16,86 г/л, коэффициенты концентрирования составляют 8,9-9,6 и 10,7-11,6 для водородной и натриевой форм по каждому компоненту соответственно. При десорбции колонн № 8 и № 17 (h = 30 см, Q = 3 мл/мин) получаем раствор с суммарным солесодержанием 13,15 и 15,58 г/л, коэффициенты концентрирования составляют 8,2-9,4, и 9,9-11,3 для водородной и натриевой форм по отдельным компонентам соответственно. При десорбции колонн № 9 и № 18 (h = 30 см, Q = 5 мл/мин) получаем раствор с суммарным солесодержанием 14,13 и 16,93 г/л, коэффициенты концентрирования составляют 8,4-10,5 и 10,8-11,9 для водородной и натриевой форм по каждому компоненту соответственно.

Общий расход серной кислоты на полную регенерацию катионита составляет 10 г-экв/г-экв Me²⁺. Стоит учитывать, что кислота расходуется не только на получение концентрата, но и на дальнейшую отмывку сорбента, как только из колонны начинает выходить раствор с содержанием ионов металлов на уровне 500 мг/л, его отправляют на повторную сорбцию.

Заключение

Сорбционный метод концентрирования может быть успешно применен для первичной переработки растворов бактериально-химического выщелачивания медно-никелевых руд.

Применение сульфо-катионита КУ-2-8 в натриевой и водородной формах позволяет уже в первом цикле сорбция-десорбция получить растворы с высоким солесодержанием, которые подлежат дальнейшей переработке известными методами с целью получения товарного продукта.

Коэффициент концентрирования, равный 10,8—11,9 для натриевой формы сорбента, получен при десорбции колонны высотой 30 см 10% раствором серной кислоты при чередовании статического и динамического режимов.

Несмотря на лучшие показатели сорбции-десорбции натриевой формы катионита КУ-2-8, применение водородной формы более технологично, так как процесс десорбции является, по сути, процессом регенерации и нет необходимости вводить в технологический цикл дополнительные операции и реагенты, такие как хлорид натрия. При использовании водородной формы катионита для концентрирования растворов цветных металлов в качестве десорбента могут быть использованы элюаты, полученные при сорбции до проскока, которые представляют собой растворы серной кислоты.

Список литературы

- 1. Taghreed Zewail, Nibal Yousef. Kinetic study of heavy metal ions removal by ion exchange in batch conical air spouted bed. Alexandria Engineering Journal. 2015. Vol. 11. 8 p.
- 2. Nazirov Z.Sh., Ibragimov J.A., Turabdzhanov S.M., Khashimova M.A. Purification of polluted water at the Mubarek Gaz Processing Plant LTD using by ion exchangers. Technical science and innovation journal. 2020. No. 3. P. 32–36.
- 3. Белова Т.П., Латкин А.С. Разработка сорбентов для решения экологических проблем Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 2006. 118 с.
- 4. Belova T.P., Selivanova O.N. Adsorption of metal ions by sorbents composed of marine alga saccharina bongardiana and poriferous aluminosilicates. Journal of Environmental Science and Engineering. 2012. T. 1. № 4. C. 514–521.
- 5. Медведева А.Н., Третьякова Н.А. Подбор оптимальных условий регенерации катионита КУ-2-8 серной кислотой с целью сокращения экономических затрат // Энергои ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Екатеринбург, 2015. С. 316–318.
- 6. Камалов К.О., Ахмаров Ф.И. Регенерация катионита в процессе ионообменной очистки сточных вод // Advanced Science. 2017. № 3. С. 71–77.
- 7. Назиров З.Ш. Исследование возможности регенерации катионита КУ-2-8 // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. 2021. № 7 (85). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/12057 (дата обращения: 03.08.2022).

УДК 625.87:536.21

КРИТЕРИЙ ВЫБОРА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД И ОСНОВАНИЙ

Галкин А.Ф., Железняк М.Н., Жирков А.Ф.

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, e-mail: afgalkin@yandex.ru

Актуальность проблемы обоснована кратким анализом литературных источников, содержащих результаты исследований по влиянию температурного фактора на эффективность и безопасность эксплуатации автомобильных дорог в криолитозоне. Анализ показал согласованность мнения профессионального сообщества в том, что, создавая дорожные одежды с дополнительным теплоизоляционным (теплозащитным) конструктивным слоем, можно снизить негативное влияние криогенных процессов на дорожное полотно и существенно повысить надежность эксплуатации автомобильных дорог в криолитозоне. Предложен новый способ оперативной оценки экономической эффективности использования различных материалов для теплоизоляционного слоя, при проектировании дорожных одежд. Введено два новых понятия: «единица термического сопротивления» и «единица термической проводимости». Показано на конкретном примере, как с помощью новых единиц оперативно оценить эффективность использования различных теплоизоляционных материалов при проектировании дорожных одежд в криолитозоне. Рассмотрены не только однородные материалы, но и бинарные смеси, состоящие из теплоаккумулирующего связующего и теплоизоляционного наполнителя различной концентрации. Получен простой критерий оценки эффективности использования различных материалов в конструктивных теплозащитных слоях дорожной одежды, не зависящий от проектного термического сопротивления теплозащитного слоя. Установлено, что выбор экономически эффективных материалов для конкретного проектного решения не зависит от физических характеристик дорожной одежды и основания и полностью определяется критерием, численно равным произведению стоимости единицы объема (кубического метра) строительного материала на коэффициент его теплопроводности.

Ключевые слова: автомобильная дорога, криолитозона, прогноз, глубина оттаивания, дорожная одежда, коэффициент теплопроводности, термическое сопротивление, затраты, экономическая эффективность, выбор

SELECTION OF THERMAL INSULATION MATERIAL FOR THE STRUCTURAL LAYER OF ROAD CLOTHING

Galkin A.F., Zheleznyak M.N., Zhirkov A.F.

Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, e-mail: afgalkin@yandex.ru

The urgency of the problem is justified by a brief analysis of literature sources containing the results of studies on the influence of the temperature factor on the efficiency and safety of the operation of highways in the cryolithozone. The analysis showed the consistency of the opinion of the professional community that by creating road clothes with an additional thermal insulation (heat-protective) structural layer, it is possible to reduce the negative impact of cryogenic processes on the roadway and significantly increase the reliability of the operation of highways in the cryolithozone. A new method of operational evaluation of the economic efficiency of using various materials for the thermal insulation layer in the design of road clothes is proposed. Two new concepts "unit of thermal resistance" and "unit of thermal conductivity" have been introduced. It is shown by concrete examples how, with the help of new units, to quickly assess the effectiveness of using various thermal insulation materials in the design of road coverings in the cryolithozone. Not only homogeneous materials are considered, but also binary mixtures consisting of a heat-accumulating binder and a heat-insulating filler of various concentrations. A simple criterion for evaluating the effectiveness of the use of various materials in the structural heat-protective layers of the pavement, independent of the design thermal resistance of the heat-protective layer, is obtained. It is established that the choice of cost-effective materials for a specific design solution does not depend on the physical characteristics of the pavement and the base and is completely determined by a criterion numerically equal to the product of the cost of a cubic meter of building material by its thermal conductivity coefficient.

Keywords: automobile road, cryolithozone, forecast, thawing depth, thermal conductivity coefficient, road clothing, thermal resistance, costs, economic efficiency, choice

Эксплуатация автомобильных дорог в криолитозоне осложнена негативным влиянием ряда криогенных процессов, к которым, прежде всего, относятся: пучение грунтов, криогенное растрескивание грунтов, образование наледей и т.п. [1–3]. Наиболее значимыми по степени влияния на дорожные покрытия в городских условиях являются процессы криогенного растрескивания грунтов в осенний период. Например, авторами работ [4, 5] проведены системные

наблюдения за влиянием процесса морозобойного растрескивания дорожных одежд на магистральных улицах г. Якутска. Отмечается, что, несмотря на систему мер борьбы и регулярные ремонты дорожного полотна, процессы морозобойного растрескивания ликвидировать не удается уже многие годы. Причем появляются морозобойные трещины в одних и тех же местах и в один и тот же период года, затрагивая при этом не только собственно проезжую часть

дороги, но и придорожные тротуары и водоотводные придорожные лотки. Материальные и финансовые издержки на поддержание автомобильных дорог криолитозоны в рабочем состоянии, как отмечают авторы работ [4-6], довольно значительны. При этом в широких инженерных кругах давно утвердилось мнение, что избежать влияния многих негативных криогенных процессов на безопасность, повысить надежность эксплуатации и продлить безремонтный период дорог возможно путем использования теплоизоляции дорожных оснований [7–9] или использованием специальных теплозащитных слоев в дорожных одеждах [10–12]. При этом предлагается использовать различные теплоизоляционные материалы, как однородные, так и специальные смеси, состоящие из теплоаккумулирующего связующего материала и гранул синтетического теплоизоляционного наполнителя, например, пенополиуретановых гранул. Многие исследователи и инженеры-практики считают перспективным использование пеностекла в качестве материала для устройства теплозащитных слоев в дорожных одеждах и основаниях [7]. Отмечается также эффективность использования горелых пород при строительстве автомобильных дорог. Анализ основных способов и средств тепловой защиты автомобильных дорог в криолитозоне содержится в работе [6].

При проектировании дорог в криолитозоне остается актуальным выбор наиболее эффективного материала (как в техническом, так и экономическом плане) для устройства теплозащитных конструктивных слоев в дорожной одежде либо теплоизоляционных подсыпок для защиты дорожных оснований от негативного влияния криогенных процессов, в том числе процессов сезонного промерзания-оттаивания грунтов дорожного основания [13]. Прежде всего, это связано с существенной зависимостью прочностных свойств большинства грунтов криолитозоны от фазового состояния и температуры льда в порах. При понижении температуры прочность дисперсных пород возрастает. А при повышении, наоборот, снижается, причем даже в зоне отрицательных значений температуры пород. При наличии фазового перехода «лед – вода», в некоторых случаях дисперсные мерзлые породы полностью теряют свою прочность, превращаясь в сыпучий материал. Подробно этот вопрос рассмотрен в работах [14-16]. Обобщение исследований по данному направлению приведено в аналитическом обзоре в работе [17].

Цель настоящего исследования — получение простой инженерной зависимости для оперативной оценки экономической эффективности использования различных материалов в теплоизоляционном слое дорожной одежды.

Материалы и методы исследования

Для достижения цели введем понятия «единица термического сопротивления» (R₁) и «единица тепловой проводимости» строительного материала (λ_1). По физическому смыслу термическое сопротивление – это отношение расстояния (толщины конструктивного слоя) к коэффициенту теплопроводности материала конструктивного слоя. То есть это расстояние, на котором при коэффициенте теплопроводности материала, равном единице, градиент температуры равен 1,0 К (1,0 °C). Соответственно, единица термического сопротивления - это расстояние, равное 1,0 м, на котором при коэффициенте теплопроводности материала, равном единице, градиент температуры равен 1,0 К (1,0 °C). Величина, обратная единице термического сопротивления, - единица проводимости материала ($\alpha_1 = 1/R_1$). По физическому смыслу – это значение коэффициента теплопроводности, которое обеспечивает перепад температуры в 1,0 К (1,0 °C) на расстоянии, равном 1,0 м. Размерность единицы термического сопротивления равна [м²·К/Вт], а единицы проводимости $[BT/M^2 \cdot K].$

Теперь, если нам известно из теплового расчета необходимое термическое сопротивление конструктивного слоя (R_T) , используя понятие единицы термического сопротивления (R_1) , мы можем определить, сколько «единиц термического сопротивления» конкретного материала содержится в заданном термическом сопротивлении по формуле

$$N = R_{T} / R_{I}. \tag{1}$$

Поскольку в единицу термического сопротивления входит толщина слоя в один метр (при площади в 1 м² это дает объем материала в 1 м³, что удобно для экономической оценки), то количество слоев N будет, как правило, меньше единицы. Поэтому более корректно называть параметр N частью «единицы термического сопротивления». Впрочем, для количественной оценки это роли не играет.

Если стоимость единицы термического сопротивления конкретного материала равна «С» (стоимость одного слоя), то стоимость материала всего теплозащитного слоя (руб./м³) определится по формуле

$$C_{T} = N \cdot C. \tag{2}$$

Формулу (2) с учетом (1) запишем в виде $C_T = C \cdot R_T / R_1 = R_T \cdot C_1 \cdot \lambda / (\delta = 1) = R_T \cdot (C_1 \cdot \lambda), \ (3)$ где λ — коэффициент теплопроводности конкретного материала (Вт/м·К) стоимостью C_1 (руб./м³).

Анализ выражения (3) позволяет сделать важный вывод. Если нам надо сравнить различные материалы для возведения теплоизоляционного слоя дорожной одежды по их экономической эффективности, то собственно заданное проектом необходимое значение термического сопротивления (R_T) никакого влияния на конечный результат не имеет. Определяющим является комплекс ($C_1 \cdot \lambda$). Например, если имеем два материала с коэффициентами теплопроводности λ_1 и λ_2 и стоимостью C_1 и C_2 , то оценка эффективности использования одного из них определится по формуле

$$C_{2} = C_{T1} / C_{T2} = (C_{1} \cdot \lambda_{1}) / (C_{2} \cdot \lambda_{2}).$$
 (4)

Если C_9 больше единицы, то выбираем второй материал, как экономически более эффективный. Если $C_9 \leq 1$, то выбираем первый материал.

Формула (4) однозначно позволяет утверждать, что выбор материала для возведения теплозащитного слоя не зависит от теплофизических свойств грунтов дорожного основания и заданного проектом значения необходимого термического сопротивления теплоизоляционного слоя. А именно, допускающего оттаивание грунтов на заданную глубину или сохранение их в мерзлом состоянии в течение всего теплого периода года (проектирование и эксплуатация объектов криолитозоны по первому и второму принципу согласно СНиП [18, 19]).

Если предполагается использовать в конструкции дорожной одежды бинарные теплоизоляционные смеси [10–12], то, определяющий экономическую эффективность комплекс (критерий эффективности) будет иметь вид

$$(C \cdot \lambda) = (m \cdot Cc \cdot + Cn(1-m)) \cdot \lambda cn =$$

= $((Cc - Cn) \cdot m + Cn)) \cdot \lambda cn, (5)$

где Cc – стоимость материала связующего, руб./м³; Cm – стоимость материала наполнителя, руб./м³; λcn – коэффициент тепло-

проводности бинарной смеси, Bт/м·K; m – концентрация наполнителя в смеси, д.е.

Коэффициент теплопроводности бинарной смеси может быть определен по формуле В.И. Оделевского или П. Шведтфейгера [20]. В работе [21] показано, что принципиальной разности в получаемом результате нет: обе формулы дают приблизительно одинаковые результаты во всем реальном диапазоне изменения концентрации легкого теплоизоляционного наполнителя в теплоаккумулирующем связующем материале. Для использования при выборе теплоизоляционного материала из трех и более компонентных смесей необходимо провести дополнительные исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим конкретный пример использования предлагаемого метода выбора теплоизоляционного материала для дорожной одежды. Пусть заданное проектом термическое сопротивление теплоизоляционного слоя в дорожной одежде « R_r », допускающее оттаивание дорожного основания на допустимую глубину, обеспечивающую безопасную эксплуатацию дороги, равно 0,5 м²·К/Вт. Для обустройства теплоизоляционного слоя в наличии имеется пять различных материалов, характеристики которых приведены в табл. 1. Характерные данные по стоимости материалов и их коэффициенту теплопроводности заимствованы из доступных открытых источников. Пятая колонка содержит результаты расчетов по формуле (3) при термическом сопротивлении теплоизоляционного слоя, равном единице.

Традиционный путь выбора строительного материала при заданном термическом сопротивлении теплоизоляционного слоя заключается в следующем. Сначала определяется необходимая толщина слоя из каждого материала по формуле

$$H = (R_{T} \cdot \lambda i), M. \tag{6}$$

Потом определяется стоимость строительных теплоизоляционных материалов на 1 м^2 площади дороги по формуле

$$Ci = H \cdot CM \cdot (S = 1M^2), py6/M^3.$$
 (7)

Здесь приняты следующие обозначения: λi – коэффициент теплопроводности строительного материала, $Bt/(M\cdot K)$; i=1,2...6 – порядковый номер материала в табл. 1; CM – стоимость строительного материала, $pyб./m^3$.

 Таблица 1

 Характеристики теплоизоляционных материалов

Nº	Наименование материала	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Стоимость, руб./м ³	Единица эффективности, $(C \cdot \lambda)$
1	2	3	4	5
1	Песок сухой	0,50	350,0	175,0
2	Керамзитовый щебень	0,11	1900,0	209,0
3	Керамзитовый песок	0,23	2250,0	517,5
4	Экструдированный пенополистирол	0,032	4785,0	153,1
5	Пенополистирол ПСБ-С-15Ф	0,053	2300,0	121,9
6	Пеностекло гранулированное	0,043	6250,0	268,7

 Таблица 2

 Затраты на материалы для устройства теплоизоляционного слоя в дорожной одежде

No	Наименование материала	Толщина слоя, м	Затраты на материалы, руб./м ³
1	2	3	4
1	Песок сухой	0,25	87,5
2	Керамзитовый щебень	0,055	104,5
3	Керамзитовый песок	0,115	258,8
4	Экструдированный пенополистирол	0,016	76,6
5	Пенополистирол ПСБ-С-15Ф	0,027	62,1
6	Пеностекло гранулированное	0,022	137,5

Далее сравниваются значения «Сі» для всех материалов и выбирается материал с наименьшим значением показателя. Результаты расчетов по традиционной методике выбора материала приведены в табл. 2.

Как следует из табл. 2, наиболее экономически целесообразным для возведения теплоизоляционного слоя является применение пенополистирола марки ПСБ-С-15Ф. Этот же результат можно получить сразу, не прибегая к дополнительным расчетам по формулам (6) и (7), а используя предлагаемый критерий экономической эффективности (5 колонка в табл. 1), что значительно проще. И, главное, при выборе материалов мы никак не привязаны к конкретному проектному значению термического сопротивления. То есть при выборе строительного материала для использования в теплозащитном слое дорожной одежды или теплоизоляционной подсыпке нет необходимости в дополнительных теплофизических расчетах на предварительной стадии проектирования. Объединяя формулы (6) и (7), мы приходим к формуле (3), что свидетельствует о правильности нового методического подхода.

При использовании в теплозащитном слое дорожной одежды смеси материалов с различными ценовыми и физическими характеристиками, целесообразно произвести расчет коэффициента теплопроводности смеси с использованием известных зависимостей [20] и оптимизировать целевую функцию стоимости смеси в зависимости от концентрации отдельных компонентов [11]. Предложенный методический подход и полученный критерий экономической эффективности для выбора конкретного строительного материала из имеющихся в распоряжении может быть использован при проектировании любых теплоизоляционных покрытий. В частности, при проектировании теплозащитных подсыпок для размещения топливных резервуаров, теплозащитных строительных панелей, теплозащитных крепей подземных сооружений, тепловой защиты линейных сооружений связи и других объектов гражданского и промышленного строительства.

Заключение

Актуальность проблемы обоснована кратким анализом литературных источников, содержащих результаты исследований по влиянию температурного фактора на эффективность и безопасность эксплуатации автомобильных дорог в криолитозоне. Анализ показал согласованность мнения профессионального сообщества в том, что, создавая дорожные одежды с дополнительным теплоизоляционным (теплозащитным) конструктивным слоем, можно снизить негативное влияние криогенных процессов на дорожное полотно и существенно повысить надежность эксплуатации автомобильных дорог в криолитозоне. Предложен новый способ оперативной экономической эффективности различных материалов использования для теплоизоляционного слоя, при проектировании дорожных одежд. Приведена простая инженерная методика выбора оптимального строительного материала при проектировании теплоизоляционного слоя дорожной одежды. Обоснованы понятия «единица термического сопротивления» и «единица тепловой проводимости». Установлено, что выбор экономически эффективных материалов для конкретного проектного решения не зависит от физических характеристик дорожной одежды и основания и полностью определяется критерием, численно равным произведению стоимости кубического метра строительного материала на коэффициент его теплопроводности. Показано, что использование новых понятий в практике проектирования дорог криолитозоны позволяет оперативно выбрать конкретный материал из нескольких имеющихся, всего по двум характеристикам: стоимости единицы объема (1 м³) материала и его коэффициента теплопроводности. Причем это решение (по капитальным затратам на материалы) будет наиболее экономически эффективным. Предложенный методический подход и полученный критерий экономической эффективности для выбора конкретного строительного материала может быть использован при проектировании бых теплоизоляционных покрытий, используемых в инженерных сооружениях криолитозоны, как наземного, так и подземного размещения. В частности, при проектировании теплозащитных подсыпок для размещения топливных резервуаров, теплозащитных строительных панелей, теплозащитных крепей подземных сооружений, тепловой защиты линейных сооружений связи. Статья будет полезна как инженерам-проектировщикам дорожной отрасли, так и научным работникам в области строительной физики и геокриологии. В методическом плане статья будет интересна преподавателям и аспирантам, обучающимся по различным специальностям направления 1.6. «Науки о Земле» и 2.1 «Технические науки», в частности – учебной специальности 08.02.05 «Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и аэродромов». Дальнейшие исследования целесообразно направить на поиск оптимальных решений при использовании в дорожной одежде теплозащитного слоя, состоящего из смеси материалов с различными теплофизическими свойствами и стоимостью.

Список литературы

- 1. Железняк М.Н., Шестернев Д.М., Литовко А.В. Проблемы устойчивости автомобильных дорог в криолитозоне // Материалы докладов XIV Общероссийской научнопрактической конференции и выставки «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации» М.: «Геомаркет», 2018. С. 223–227.
- 2. Шестернев Д.М., Литовко А.В. Комплексные исследования по выявлению деформаций на автомобильной дороге «Амур» // Материалы докладов XIV Общеросийской научно-практической конференции и выставки «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». М.: «Геомаркет», 2018. С. 309–314.
- 3. Кондратьев В.Г., Кондратьев С.В. Как защитить федеральную автодорогу «Амур» Чита Хабаровск от опасных инженерно-геокриологических процессов и явлений // Инженерная геология. 2013. № 5. С. 40–47.
- 4. Шац М.М. Современное состояние городской инфраструктуры г. Якутска и пути повышения ее надежности // Геориск. 2011. № 2. С. 40–46.
- 5. Сериков С.И., Шац М.М. Морозобойное растрескивание грунтов и его роль в состоянии поверхности и инфраструктуры г. Якутска // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2018. № 1. С. 56–69. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.01.04.
- 6. Панков В.Ю., Бурнашева С.Г. Анализ способов защиты автомобильных дорог от негативных криогенных процессов // Лучшая студенческая статья 2020. МЦНС «Наука и просвещение». 2020. С. 52–55.
- 8. Бессонов И.В., Жуков А.Д., Боброва Е.Ю., Говряков И.С., Горбунова Э.А. Анализ конструктивных решений в зависимости от типа изоляционных материалов в дорожных покрытиях в многолетнемерзлых грунтах // Транспортное строительство. 2022. № 1. С. 14–17.
- 9. Железняк И.И., Сакисян Р.М. Методы управления сезонным промерзанием грунтов в Забайкалье. Новосибирск: Наука, 1987. 128 с.
- 10. Галкин А.Ф., Курта И.В., Панков В.Ю., Потапов А.В. Оценка эффективности использования слоистой конструкции тепловой защиты при строительстве дорог в криолитозоне // Энергобезопасность и энергосбережение. 2020. № 4. С. 24—28. DOI: 10.18635/2071-2219-2020-4-24-28.

- 11. Галкин А.Ф., Железняк М.Н., Жирков А.Ф. Повышение тепловой устойчивости дорожных одежд в криолитозоне // Строительные материалы. 2021. № 7. С. 26–31.
- 12. Galkin A.F., Pankov V.Yu. Thermal protection of roads in the permafrost zone. Journal of Applied Engineering Science. 2022. Vol. 20. No. 2. P. 395–399. DOI: 10.5937/jaes0-34379.
- 13. Галкин А.Ф. Влияние термического сопротивления на скорость оттаивания дисперсных пород // Естественные и технические науки. 2021. № 9 (160). С. 82–84.
- 14. Вялов С.С. Реологические основы механики мёрзлых грунтов. М.: Высш. школа, 1978. 447 с.
- 15. Цытович Н.А. Механика мёрзлых грунтов. М.: Высш. школа, 1973. 448 с.
- 16. Teng J., Shan F., He Z., Zhang S., Sheng D. Experimental study of ice accumulation in unsaturated clean sand. Géotechnique. 2018. DOI: 10.1680/jgeot.17.P.208.
- 17. Guofang Xu, Jilin Qi, Wei Wu. Temperature Effect on the Compressive Strength of Frozen Soils: A Review. Recent Advances in Geotechnical Research, Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. 2019. P. 227–236. DOI: 10.1007/978-3-319-89671-7_19.
- 18. Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах / Под ред. Ю.Я. Вели, В.В. Докучаева, Н.Ф. Федорова. Л.: Стройиздат, 1977. 552 с.
- 19. СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. М., 1990. 54 с.
- 20. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Л.: Энергия, 1974. 264 с.
- 21. Galkin A.F., Kurta I.V., Pankov V.Yu. Calculation of thermal conductivity coefficient of thermal insulation mixtures. IOPConf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 918. 2020. 012009.

УДК 622.6

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Герасимова Т.А., Иванчук А.О., Плютов Ю.А.

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: gta291277@ya.ru, 15anastasia@mail.ru, plu 2002@mail.ru

В статье изложены основные логические принципы формирования структуры погрузочно-транспортного комплекса для заданных условий горной разработки. Решение данной задачи включает в себя несколько этапов, начальным из которых является обоснованный выбор способов разработки и вскрытия месторождения, системы разработки и технологических процессов добычи полезного ископаемого. В результате устанавливаются параметры, которые в дальнейшем предопределят выбор погрузочного и транспортного оборудования. Затем формируется техническая политика предприятия на ближайшую перспективу. На основе принятых критериев эффективности формулируются цель и задачи. Далее производится выбор типа, производителя и модели выемочно-погрузочного оборудования. Проводится анализ известных достоинств и недостатков основных видов транспорта применительно к существующим горнотехническим условиям. После этого выбирается вид транспорта и его подвижной состав. Если физико-механические свойства вскрышных пород и полезного ископаемого одинаковы или различаются незначительно, формируется структура погрузочно-транспортного комплекса, называемого простым. В этом случае одно и то же оборудование используется как для вскрышных, так и для добычных работ. Если различия в указанных свойствах значительны, машины выбираются отдельно для вскрыши и добычи, а комплекс называется сложным. Сформировав структуру нескольких погрузочно-транспортных комплексов, на основе экономико-математического моделирования по критериям эффективности выбирается оптимальный или рациональный вариант и окончательно принимаются к эксплуатации горнотранспортные машины. Представлен пример формирования структуры погрузочно-транспортного комплекса для условий виртуального карьера.

Ключевые слова: погрузочно-транспортный комплекс, критерии эффективности эксплуатации, технологические процессы, вскрытие месторождения, система разработки

FORMING THE STRUCTURE OF THE LOADING AND TRANSPORT COMPLEX FOR MINING ENTERPRISES

Gerasimova T.A., Ivanchuk A.O., Plyutov Yu.A.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: gta291277@ya.ru, 15anastasia@mail.ru, plu 2002@mail.ru

The article outlines the basic logical principles of formation of the structure of the loading and transport complex for the given conditions of mining. The solution of this problem includes several stages, the initial of which is a reasonable choice of methods for developing and field penetration, mining method and technological processes for extracting minerals. As a result, parameters are set that will further determine the choice of loading and transport equipment. Then the technical policy of the enterprise for the near future is formed. On the basis of the adopted performance criteria, the goal and objectives are formulated. Next, the type, manufacturer and model of excavation and loading equipment is selected. An analysis of the known advantages and disadvantages of the main modes of transport is carried out in relation to the existing mining and technical conditions. After that, the mode of transport and its rolling stock are selected. If the physical and mechanical properties of overburden and minerals are the same or differ slightly, the structure of the loading and transport complex, called simple, is formed. In this case, the same equipment is used for both stripping and mining operations. If the differences in these properties are significant, the machines are selected separately for overburden and mining, and the complex is called complex. Having formed the structure of several loading and transport complexes, on the basis of economic and mathematical modeling, according to the efficiency criteria, the optimal or rational option is selected, and mining transport machines are finally accepted for operation. An example of the formation of the structure of the loading and transport complex for the conditions of a virtual quarry is presented.

Keywords: loading and transport complex, operation efficiency criteria, technological processes, field penetration, mining method

Важнейшим элементом эффективной работы горного предприятия является максимальное соответствие конструктивных параметров применяемого оборудования сложным горнотехническим, климатическим и другим условиям его эксплуатации. На многих горных предприятиях страны парки машин формируются хаотично, без системного подхода. Их структуры представлены значительным и разнообразным

количеством оборудования различных фирм и компаний, что влечет за собой множество проблем. В разного рода публикациях [1–3] предлагается учитывать лишь ограниченное число факторов при выборе горного оборудования. Цель данной работы — сформулировать логически связанные принципы формирования структуры погрузочно-транспортного комплекса с учетом технической политики предприятия.

Материалы и методы исследования

Под погрузочно-транспортным комплексом (ПТК) авторы понимают совокупность машин, используемых при ведении таких технологических процессов добычи полезных ископаемых, как выемочно-погрузочные работы и транспортирование. Основным требованием к его работе является обеспечение заданной годовой производительности.

Формирование структуры подобного комплекса необходимо проводить в несколько этапов, начальным из которых является анализ технологических особенностей ведения горных работ (если предприятие эксплуатируется в течение некоторого времени) или обоснованный выбор способов разработки и вскрытия месторождения, системы разработки (если предприятие находится в стадии проектирования). В последнем случае должны быть приведены доводы в пользу выбора каждого элемента

технологии с учетом вида залегания полезного ископаемого и физико-механических свойств транспортируемых грузов. В конце этого этапа устанавливаются параметры, которые в дальнейшем предопределят выбор вида транспорта и его подвижного состава (рис. 1).

Вторым этапом формирования структуры ПТК является анализ технической политики предприятия (в случае его работы в течение некоторого периода времени) или ее выработка (на стадии проектирования). Сначала выбирается один или несколько критериев эффективности эксплуатации погрузочно-транспортных комплексов и устанавливается их приоритетность с учетом либо имеющихся проблем, либо реализуемых задач, а затем формулируется цель. Ею может быть получение экономического или социального эффекта, который, по возможности, должен быть конкретизирован (рис. 2).

1. СПОСОБ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ОТКРЫТЫЙ, ПОДЗЕМНЫЙ, КОМБИНИРОВАННЫЙ)

3. СПОСОБ ВСКРЫТИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ТРАНШЕЯМИ, ПОЛУТРАНШЕЯМИ ИТ.Д. - для открытых разработок; СТВОЛАМИ, ШТОЛЬНЯМИ И Т.Д. - для подземных разработок)

2. ВИД ЗАЛЕГАНИЯ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУЗОВ

> 4. СИСТЕМА РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

УСТАНОВЛЕНЫ: РАССТОЯНИЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО И ВСКРЫШНЫХ ПОРОД; ЗНАЧЕНИЯ УКЛОНОВ ВСКРЫВАЮЩИХ ВЫРАБОТОК И ДРУГИХ УЧАСТКОВ ТРАСС; ВЫСОТА ПОДЪЕМА (ГЛУБИНА СПУСКА) ГРУЗОВ И Т.Д.

Рис. 1. Начальный этап формирования структуры ПТК

1. ВЫРАБОТКА (АНАЛИЗ) ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ ПРЕДПРИЯТИЯ

2. ВЫЯВЛЕНИЕ ПРОБЛЕМ 3. ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

. ФОРМУЛИРОВАНИЕ ЦЕЛИ И ЗАДАЧ

Рис. 2. Второй этап формирования структуры ПТК

1. ВЫБОР ВЫЕМОЧНО-ПОГРУЗОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО ПРИНЦИПУ ДЕЙСТВИЯ

> 3. ВЫБОР ПРОИЗВОДИТЕЛЯ ВЫЕМОЧНО-ПОГРУЗОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

2. ВЫБОР ТИПА ВЫЕМОЧНО-ПОГРУЗОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

4. ВЫБОР МОДЕЛИ ВЫЕМОЧНО-ПОГРУЗОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Рис. 3. Третий этап формирования структуры ПТК

1. ВЫБОР ВИДА ТРАНСПОРТА 2. ВЫБОР ПРОИЗВОДИТЕЛЯ ТРАНСПОРТНОГО СОСТАВА 3. ВЫБОР ПРОИЗВОДИТЕЛЯ ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ

Рис. 4. Четвертый этап формирования структуры ПТК



Рис. 5. Заключительный этап формирования структуры ПТК

Третий этап – выбор выемочно-погрузочного оборудования (в ПТК именно оно является главным), который производится в большинстве случаев с учетом опыта эксплуатации машины на предприятии. На стадии проектирования рекомендуется решать эту задачу путем приведения понятных и обоснованных доводов по каждому элементу алгоритма, представленного на рис. 3. Важно отметить, что, если физико-механические свойства вскрышных пород и полезного ископаемого одинаковы или различаются незначительно, формируется структура погрузочно-транспортного комплекса, называемого простым. В этом случае одно и то же оборудование используется как для вскрышных, так и для добычных работ. Если различия в указанных свойствах значительны, машины выбираются отдельно для вскрыши и добычи, а комплекс называется сложным [4].

Четвертый этап связан с выбором транспортного оборудования. Его конструктивные параметры должны максимально соответствовать аналогичным параметрам выемочно-погрузочной машины. Сначала к рассмотрению принимаются 3-4 вида транспорта и анализируются их достоинства и недостатки применительно к принятой технологии ведения горных работ и условиям эксплуатации. Вполне допустима ситуация, когда в сложном комплексе на вскрышных и добычных работах будут использоваться различные виды транспорта. После принятия решения производится выбор подвижного состава этого транспорта. Далее обосновывается выбор производителя и модели транспортной машины (рис. 4).

На заключительном этапе производится экономико-математическое моделирование, позволяющее определить критерии эффективности эксплуатации погрузочнотранспортных комплексов для различных горнотехнических условий в зависимости от технической политики предприятия и его финансовых возможностей. Оно осуществляется с помощью оригинальных зарегистрированных компьютерных программ (работают в диалоговом режиме), базы данных которых включают в себя около 100 типов выемочно-погрузочного и транспортного оборудования ведущих мировых производителей горной техники из России, США, Японии, Германии, Франции, Китая, Польши и других стран. Разработанное на кафедре горных машин и комплексов Института горного дела, геологии и геотехнологий Сибирского федерального университета программное обеспечение [5] может быть использовано как легко встраиваемый элемент структуры автоматизированной системы управления горным предприятием. По результатам моделирования окончательно выбирается либо оптимальный вариант (по одному критерию эффективности), либо рациональный вариант (по совокупности критериев эффективности) (рис. 5).

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве объекта использования предлагаемой методики примем виртуальное месторождение золота, находящееся в субарктической климатической зоне.

Этап 1. Выбираем открытый способ разработки. Доводы: глубина залегания по-

лезного ископаемого – 300 м, а годовая производительность: по вскрыше -20 млн м³; по руде – 10 млн т. Рудное тело круто падает под углом 68°. Крепость пород колеблется в пределах от 10 до 14 по шкале проф. М.М. Протодьяконова. Плотность: руды – $2,7 \text{ т/м}^3$; вскрыши – $2,5 \text{ т/м}^3$. Грузы крупные, сильно абразивные, не влажные. При открытом способе разработки месторождения вскрытие карьерного поля производится траншеями, полутраншеями, автомобильными съездами или котлованами. В нашем случае осуществляем его капитальными наклонными групповыми траншеями из-за разработки большого количества уступов. Принятая схема вскрытия обеспечивает минимальные расстояния транспортирования горной массы (вскрыши – 3500 м, руды – 4200 м). Руководящий уклон составляет 70 %. По классификации академика Н.В. Мельникова различают транспортную, бестранспортную, транспортно-отвальную и комбинированную системы разработки месторождения. Принимаем транспортную систему разработки с вывозкой вскрышных пород во внешние отвалы, поскольку она возможна при любой форме месторождения и любой крепости пород. Число рабочих уступов – 5. Высота уступа составляет 15 м. Для решения нашей задачи принимаем к рассмотрению два технологических процесса: выемочно-погрузочные работы и транспортирование. Но при этом в случае необходимости будем учитывать параметры буровзрывных работ.

Этап 2. В течение 2023–2026 гг. на предприятии изменение объемов вскрышных и добычных работ не предусматривается. Техническая политика будет направлена на снижение эксплуатационных затрат, поэтому на этот период в качестве основного критерия эффективности эксплуатации ПТК примем себестоимость 1 м³ (1 т) вскрыши (руды). Наличие одного критерия эффективности предполагает в дальнейшем выбор оптимального варианта погрузочнотранспортного комплекса. Цель - получение экономического эффекта в виде прибыли в размере не менее 700 млн руб. за счет удельных эксплуатационных снижения расходов (себестоимости). Определяющим фактором для этого будем считать уменьшение расходов на энергоносители.

Этап 3. Выбираем выемочно-погрузочное оборудование цикличного действия исходя из годовой производительности карьера и крепости пород. Выбираем экскаватор

типа прямая механическая лопата, так как он, в отличие от гидравлической лопаты и ковшового фронтального погрузчика, работает на электрической энергии, которая дешевле дизельного топлива. Это соответствует выработанной нами технической политике предприятия. Обратная лопата не может быть использована в данных условиях, потому что системой разработки предусмотрен нижний уровень стояния погрузочной машины. Выбираем продукцию ООО «УК УЗТМ-КАРТЭКС» с целью поддержания отечественного производителя и с учетом планируемых капитальных затрат. Существует ошибочное, по мнению авторов, мнение, что при выборе модели погрузочной машины с ковшом определенной вместимости следует ориентироваться на годовую производительность предприятия. Нам не известна прямая зависимость вместимости ковша экскаватора от годовой производительности карьера, хотя использование более мощного оборудования при больших объемах работ представляется вполне логичным. Поэтому при выборе модели экскаватора ООО «УК УЗТМ-КАРТЭКС» будем руководствоваться другими критериями. Если из типажного ряда продукции производителя выбрать экскаваторы с ковшом малой вместимости (например, 5 или 10 м³), то положительным аспектом будет высокая стабильность их работы (из-за большего их количества выход из строя одной единицы принесет меньший ущерб). Если же выбрать экскаваторы с ковшом большей вместимости (например, 20 или 30 м^3), то положительным аспектом будут меньшие эксплуатационные затраты (на зарплату, запчасти, техническое обслуживание и т.д.). С учетом вышесказанного, а также технологических особенностей эксплуатации (число рабочих уступов, их высота и т.д.) и предусмотренных капитальных затрат, выбираем экскаватор ЭКГ-15 с ковшом вместимостью 15 м³. Данная модель будет использоваться как на вскрыше, так и на добыче.

Этап 4. Для условий нашей открытой горной разработки принимаем к рассмотрению три вида транспорта — железнодорожный, конвейерный и автомобильный. Первый из них нецелесообразно использовать в связи с невысокой годовой производительностью (по вскрыше — 20 млн м³; по руде — 10 млн т), малыми расстояниями транспортирования груза (вскрыши — 3500 м, руды — 4200 м) и большим руководящим уклоном (70 ‰). Конвейерный транспорт

не может быть применен из-за высоких абразивности и крупности грузов, суровых климатических условий и невысокой годовой производительности. Окончательно выбираем автомобильный транспорт. Автопоезда не могут быть применены на данном карьере, так как они предназначены для транспортирования легких грузов, а у нас грузы тяжелые (плотность руды -2.7 т/м³; вскрыши -2.5 т/м³). С целью экономии дизельного топлива на предприятии можно было бы использовать дизель-троллейвозы, соорудив контактную сеть на одной из капитальных траншей. Но это потребует значительных капитальных вложений, которые в настоящее время на производстве не предусмотрены. В качестве подвижного состава принимаем автосамосвалы. Лидерами мирового рынка карьерных автосамосвалов являются Белорусский автомобильный завод (БелАЗ), американская компания «Caterpillar», японские фирмы «Komatsu» и «Hitachi», а также немецкий концерн «Liebherr». С учетом политической обстановки останавливаем свой выбор на продукции БелАЗа. Благодаря его широко развитой сервисной сети на территории Российской Федерации эксплуатационные затраты на техническое обслуживание и ремонт автомобилей для предприятия будут приемлемы. Для рациональной погрузки автосамосвала в его кузов должны загружаться 3-5 ковшей экскаватора. В ковше выбранного нами экскаватора ЭКГ-15 с учетом плотности ориентировочно размещается 37,5 т ($15 \text{ м}^3 \text{ x } 2,5 \text{ т/м}^3$) вскрышной породы и 40,5 т ($15 \text{ м}^3 \text{ x } 2,7 \text{ т/м}^3$) руды. Поэтому в каталоге БелАЗа следует искать модель автосамосвала в пределах грузоподъемности: для вскрыши от 112,5 до 187,5 т, а для полезного ископаемого – от 121,5 до 202,5 т. Этим цифрам соответствуют автосамосвалы БелАЗ-75135 (грузоподъемность 130 т), БелАЗ-75170 (грузоподъемность 160 т) и БелАЗ-75180 (грузоподъемность 180 т). Окончательный выбор модели производится по значению коэффициента использования грузоподъемности, наиболее близкому к единице. С этой целью сначала рассчитывается фактическое количество ковшей экскаватора, загружаемых в кузов автосамосвала (округляется до целого):

$$n_{_{\phi}} = q / (V_{_{K}} \cdot \gamma), \qquad (1)$$

где q — грузоподъемность автосамосвала, т; $V_{_K}$ — вместимость ковша экскаватора, м³; γ — насыпная плотность груза, т/м³.

Затем определяют фактическую грузоподъёмность автосамосвала q_{ϕ} по формуле

$$q_{\phi} = n_{\phi} \cdot V_{K} \cdot \gamma, \text{ T.}$$
 (2)

Коэффициент использования грузоподъёмности автосамосвала:

$$K_{q} = q_{\phi} / q. \tag{3}$$

Результаты расчетов для трех выбранных моделей автосамосвалов БелАЗ для вскрышной породы и руды сведены в таблицу. Если принять подход, обозначенный выше, то для транспортирования вскрыши нам подходит автосамосвал БелАЗ-75180, а для транспортирования руды — БелАЗ-75170. Если ставится вопрос о выборе одной модели для транспортирования грузов, то это БелАЗ-75170. Таким образом, сформированы структуры двух погрузочно-транспортных комплексов: простого (ЭКГ-15 + БелАЗ-75170) и сложного (вскрыша — ЭКГ-15 + БелАЗ-75180; добыча — ЭКГ-15 + БелАЗ-75170).

Этап 5. К моделированию приняты два варианта простого и сложного погрузочно-транспортных комплексов. В результате проведенных тяговых, эксплуатационных и экономических расчетов определены значения себестоимостей 1 м³ вскрыши и 1 т руды, выбранные нами в качестве основного критерия эффективности эксплуатации ПТК. Для простого комплекса они соответственно равны 417 руб. и 768 руб., для сложного – 501 руб. и 844 руб. Меньшие значения себестоимости в первом варианте обусловлены меньшим удельным расходом топлива на единицу транспортной работы (на 7,5%). Таким образом, окончательно сформирована структура погрузочно-транспортного комплекса - на вскрышных и добычных работах будут эксплуатироваться экскаваторы ЭКГ-15 и автосамосвалы БелАЗ-75170.

Значения коэффициента использования грузоподъемности автосамосвалов БелАЗ

Груз	БелАЗ-75135	БелАЗ-75170	БелАЗ-75180
Вскрышная порода	0,87	0,94	1,04
Руда	0,93	1,01	0,9

Заключение

Предлагаемой методикой предусмотрен расчет критериев эффективности на каждый год эксплуатации машин, что позволит вносить изменения в структуру ПТК в любой момент времени.

Список литературы

- 1. Байкин В.С. Развитие мониторинга системы эксплуатации горнотранспортного оборудования // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № S64. C. 107–115.
- 2. Андреева Л.И., Красникова Т.И., Ушаков Ю.Ю. Методология формирования эффективной системы обе-

- спечения работоспособности горной техники // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2019. № 5. С. 92–106.
- 3. Воронов А.Ю., Нестеров В.И., Воронов Ю.Е., Ромашко В.Г. Сравнительная оценка качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов в летний и переходный периоды года // Горное оборудование и электромеханика. 2021. № 2. С. 11–16.
- 4. Хажиев В.А. Методический подход к оценке эффективности системы эксплуатации оборудования технологического комплекса горного предприятия // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 2. С. 14—21.
- 5. Плютов Ю.А. Оценка эффективности эксплуатации погрузочно-транспортных комплексов открытых горных разработок // Горное оборудование и электромеханика. 2008. N 1. C. 4—7.

УДК 658.264:621.482

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Кудряшов В.А.

ФГБУН Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, Петропавловск-Камчатский, e-mail: nigtc@nigtc.ru

Использование геотермальных ресурсов Камчатского края характеризуется низкой эффективностью и высокими нагрузками на экологию, в связи с этим рациональное использование флюида геотермальных месторождений - актуальная задача. Одним из методов увеличения мощности месторождения является применение теплонасосных установок, которые позволяют повысить тепловую мощность, подаваемую потребителю, за счёт снижения температуры сбросного геотермального теплоносителя. На примере Эссовского месторождения геотермальных вод проведен расчёт возможности повышения эффективности использования геотермальной воды с помощью теплового насоса. Определены наиболее эффективные схемы использования тепловых насосов в схемах геотермального теплоснабжения. Рассмотрены два варианта регулирования тепловой нагрузки: «количественный» и «качественный». При «количественном» способе за счёт тепла сбросной воды подогрев идёт до температуры подающей воды, а покрытие дополнительной тепловой нагрузки происходит за счёт увеличения расхода циркуляции в системе теплоснабжения. В случае же «качественной» регулировки покрытие дополнительной тепловой нагрузки в периоды пика нагрузки происходит за счёт подогрева геотермального теплоносителя в конденсаторе выше температуры воды, поступающей из устья скважины, а расход при этом остаётся неизменным. Проведённый анализ для конкретного микрорайона показал, что «количественный» вариант регулирования («по расходу») с помощью теплонасосной установки более экономичен (в 1,44 раза), чем вариант «качественной» регулировки («по температуре»).

Ключевые слова: геотермальное месторождение, теплоснабжение, тепловые насосы, система регулирования, фреон

IMPROVING THE EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS OF THE OPERATION OF GEOTHERMAL DEPOSITS USING HEAT PUMP INSTALLATIONS

Kudryashov V.A.

Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, e-mail: nigtc@nigtc.ru

The use of geothermal resources of the Kamchatka Territory is characterized by low efficiency and high loads on the environment, in this regard, the rational use of the fluid of geothermal deposits is an urgent task. One of the methods of increasing the capacity of the field is the use of heat pumping units, which allow to increase the thermal power supplied to the consumer by reducing the temperature of the discharge geothermal coolant. On the example of the Essovsky geothermal water deposit, the calculation of the possibility of increasing the efficiency of using geothermal water using a heat pump was carried out. The most effective schemes of using heat pumps in geothermal heat supply schemes have been determined. Two variants of heat load regulation are considered: "quantitative" and "qualitative". With the "quantitative" method, due to the heat of the waste water, the heating goes up to the temperature of the supply water, and the additional heat load is covered by increasing the circulation flow in the heat supply system. In the case of "qualitative" adjustment, the additional heat load is covered during peak load periods by heating the geothermal coolant in the condenser above the temperature of the water coming from the wellhead, and the flow rate remains unchanged. The analysis carried out for a specific microdistrict showed that the "quantitative" version of regulation) ("flow rate") with the help of a heat pump installation, it is more preferable - by 1.44 times than the option of "qualitative" adjustment ("by temperature").

Keywords: geothermal field, heat supply, heat pumps, control system, freon

Геотермальная энергетика на Камчатке развивалась с середины прошлого века, как правило, использовались традиционные схемы теплоснабжения, применяемые для котельных, а геотермальный теплоноситель напрямую использовался в системе отопления. На начальном этапе освоения месторождений тепловой энергии было достаточно и об эффективном использовании и экологии не задумывались. С ростом численности населения возрастала и тепловая нагрузка, и тепла для потребителей стало не хватать [1], а нагрузка на экологию возрастала.

Эффективность использования теплоносителя разведанных геотермальных месторождений Камчатского края в настоящее время оставляет желать много лучшего. Так, на сегодняшний день используется в основном высокотемпературная часть теплоносителя, добываемого на месторождениях (от 70 до 95 °C), а средне- и низкотемпературная отработанная часть с температурой 35–55 °C сбрасывается в окружающую сре-

ду и не используется. Несмотря на то, что договорами о энергоснабжении установлена температура сброса не более 35 °C, встречаются случаи сброса геотермального теплоносителя с гораздо более высокой температурой, что помимо нерационального использования нарушает экологию в местах слива отработанного теплоносителя. При этом геотермальная вода ещё обладает значительным тепловым потенциалом.

Для использования данного потенциала в качестве низкотемпературного источника тепла, можно применять теплонасосные установки (ТНУ) [2]. Наиболее рационально в этом случае использовать тепло «отработанной» воды с использованием ТНУ для повышения (регулирования) тепловой нагрузки.

В классических (не геотермальных) системах теплоснабжения используют обычно два основных варианта регулирования (повышения) тепловой нагрузки [3]: «качественное», когда покрытие дополнительной тепловой нагрузки осуществляют за счёт увеличения температуры «подачи» (наиболее распространенный вариант), и «количественное», когда увеличение нагрузки покрывается за счёт повышения расхода теплоносителя. При использовании тепла сбросной отработанной воды с помощью ТНУ возможен как один, так и другой вариант.

Цель исследования — определить наиболее эффективный вариант покрытия тепловой нагрузки (регулирования) в схемах геотермального теплоснабжения, оказывающий минимальное воздействие на экологию при разработке геотермального месторождения.

Материалы и методы исследования

Как правило, при эксплуатации геотермального месторождения в действующих тепловых сетях применяется «количественное» регулирование, при котором тепловая нагрузка регулируется с помощью расхода теплоносителя при постоянной температуре на устье скважины. В некоторых случаях при недостатке тепла в пики потребления используются пиковые котельные [2]. Однако схема с котельными, использующими органическое топливо, нерациональна и наносит вред окружающей среде. Для наиболее эффективного и полного использования геотермального флюида целесообразно использовать тепло отработанного геотермального теплоносителя.

Расчёты производились применительно к конкретной системе геотермального теплоснабжения с. Эссо Быстринского

района Камчатского края. Однако полученные результаты могут быть использованы для широкого круга систем геотермального теплоснабжения.

Место расположения объекта

Эссовское месторождение термальных вод расположено в Центральной части Камчатского полуострова в долине р. Быстрой и ее левого притока р. Уксичан. Месторождение расположено непосредственно в границах с. Эссо Быстринского районного муниципального образования. Климат данного района резко континентальный. Температура воздуха колеблется от +35 °C летом до -40 °C зимой. Расчетная температура воздуха в с. Эссо самой холодной пятидневки — -36 °C. Средняя температура отопительного периода — (минус) 3,6 °C. Продолжительность отопительного периода — 276 суток.

Построенные еще в советские годы системы геотермального теплоснабжения основывались на концепциях того времени, когда мало внимания уделялось комплексному и рациональному использованию геотермального теплоносителя. У потребителя используются традиционные тепловые схемы (применяются типовые радиаторы отопления), без тепловых насосов и систем низкотемпературного отопления, вследствие чего температура сброса (по результатам измерений) в среднем составляет 55 °C. Современные системы с использованием низкотемпературных систем, таких как «тёплые полы», «фэнкойлы», в с. Эссо применяются у единичных потребителей, в основном в новых частных домах. Замена всех приборов отопления на современные низкотемпературные потребует коренной реконструкции муниципального жилищного фонда и сетей, что крайне затратно.

Наилучшим способом снижения температуры сброса геотермального теплоносителя с одновременным использованием дополнительного тепла является применение ТНУ. При этом тепловая энергия «обратки» «перекачивается» в «подачу» (подающий трубопровод).

Для системы теплоснабжения с. Эссо рассматривались два варианта регулирования тепловой нагрузки «количественный» и «качественный». При «количественном» способе за счёт тепла сбросной воды подогрев идёт до температуры подающей воды, а покрытие дополнительной тепловой нагрузки происходит за счёт увеличения расхода циркуляции в системе теплоснабжения. В случае же «качественной» регулировки

покрытие дополнительной тепловой нагрузки в периоды пика нагрузки происходит за счёт подогрева геотермального теплоносителя в конденсаторе ТНУ выше температуры воды, поступающей из устья скважины, а расход при этом остаётся неизменным.

Анализ вариантов проводился на примере конкретного объекта, участка тепловой сети микрорайона с. Эссо (действующая тепловая нагрузка — 1,51 Гкал/ч), который обеспечивается геотермальной водой от насосной \mathbb{N}_2 (рис. 1).

Результаты исследования и их обсуждение

На основании собранных исходных данных по тепловой сети были проведены тепло-гидравлические расчёты системы отопления с. Эссо и определены нагрузки с помощью отечественной программы ZuluThermo [4]. Анализ схемы теплоснабжения показал недостаток тепловой мощности в пики теплопотребления в объёме 1,64 Гкал/ч (с учётом перспективной нагрузки).

Энергорайон снабжается геотермальной водой от двух скважин 7Д и 8, общий расход от которых составляет 79,7 т/ч (22,14 л/с), от которых, через промежуточную ёмкость геотермальная вода со средневзвешенной температурой 74 °С подаётся насосами потребителям. Отработанная вода с температурой 55 °С по традиционной схеме сбрасывается «на рельеф» (в реку Уксичан). Рассматриваемый энергорайон с. Эссо ощущает недостаток тепловой энергии в сильные морозы, который компенсирует-

ся за счёт дровяных печей у потребителей, что является нерациональным и вызывает много нареканий потребителей. Сравнивались варианты схем применения ТНУ для повышения эффективности работы и снижения экологической нагрузки (температуры сброса) при увеличении тепловой мощности подаваемой потребителям.

Выбор теплоносителя ТНУ. Описание циклов

В качестве теплоносителя при температурах ниже 100 °С рекомендуется использовать вещества, с температурой кипения при атмосферном давлении ниже, чем у воды [5]. В качестве рабочего тела ТНУ был принят распространённый хладагент R 123, имеющий температуру кипения при атмосферном давлении +27,9 °С (1,1,1-трифтордихлорэтанн = Дихлортрифторэтан (C2HCl2F3) — критическая точка +183, 68 °С).

При сравнении вариантов приняты следующие допущения: дополнительная тепловая мощность для потребителя, необходимая при регулировке, одинакова, температура и расход теплоносителя из скважины также одинаковы в обоих вариантах, температура теплоносителя за потребителем (температура «обратки») одинакова. Рассматривался самый простой одноконтурный цикл ТНУ, внутрицикловые потери ТНУ в обоих вариантах не учитывались. Перепад температур между геотермальной водой и фреоном на входе и выходе теплообменных аппаратов (конденсаторе, испарителе) задавался $\Delta t = 5$ °C — одинаковым для обоих вариантов.

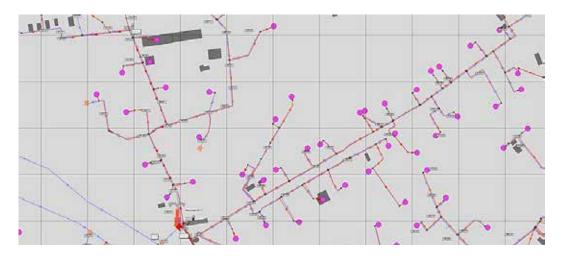


Рис. 1. Участок схемы теплоснабжения энергорайона с. Эссо (Насосная № 3), используемого в качестве примера для анализа вариантов регулировки нагрузки (расчёт нагрузки проведён по программе Zulu)

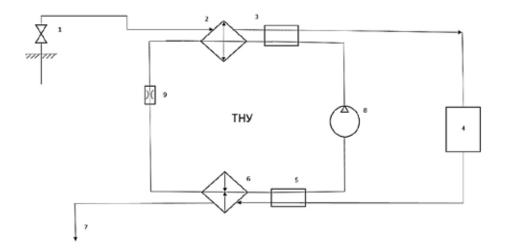


Рис. 2. Схема «качественного» регулирования с использованием ТНУ: 1 — добычная скважина; 2 — конденсатор ТНУ; 3 — пароохладитель фреона; 4 — обобщённый потребитель тепловой энергии; 5 — пароперегреватель газообразного фреона; 6 — конденсатор ТНУ; 7 — «сброс на рельеф» отработанного геотермального теплоносителя; 8 — компрессор ТНУ; 9 — дросселирующее устройство

Вариант «качественного» регулирования приведён на рис. 2. Геотермальная вода поступает из скважины 1, затем подаётся в конденсатор 2 ТНУ, где нагревается от фреона, подогревается в пароохладителе и подаётся потребителю 4. После потребителя теплоноситель поступает последовательно в пароперегреватель 5, испаритель 6 ТНУ, где отдаёт тепло фреону. Далее охлаждённая в испарителе ТНУ геотермальная вода сбрасывается «на рельеф» 7.

Расчёты параметров ТНУ проводились с помощью датской программы CoolPack, включающей базу данных термодинамического состояния различных веществ, в том числе легкокипящих. Были построены теоретические циклы для вариантов и определены основные параметры, в том числе и коэффициент трансформации теплового насоса – СОР пруменной мощности можно получить с единицы затраченной мощности на привод компрессора. Данный показатель общепринят в качестве критерия эффективности геотермальных систем теплоснабжения [6].

График цикла (lg P и h-диаграмма) для варианта «качественного» регулирования приведён на рис. 3. Точка 1 на графике (рис. 3) характеризует параметры пара фреона перед компрессором, т. 2 параметры пара после компрессора, т. 2'— параметры фреона на начальной стадии конденсации в конденсаторе, т. 3 — параметры фреона перед дросселем, т. 4 — после дросселя перед

испарителем, т. 4' — после испарителя. Расчётные параметры ТНУ для варианта «качественного» регулирования составили: температура в испарителе 33,1 °C, температура в конденсаторе 100 °C, перегрев пара перед компрессором Δt комп = 16,9 °C, переохлаждение фреона в конденсаторе перед дросселем Δt конд = 21 °C. Расчётная температура «обратки», выходящей от потребителя, 55 °C. Температура сброса в окружающую среду + 38,1 °C. Расчётный СОР тну для данного варианта равен 5,06.

Для варианта «количественного» регулирования (рис. 4): геотермальный теплоноситель подавался потребителю 4, а дополнительный объем геотермальной воды подогревался в конденсаторе 2 от температуры «обратки» до температуры, подаваемой от скважины 1 потребителю 4. Часть потока отработанного теплоносителя направлялась из «обратки» потребителя 4, предварительно отдав часть тепла в пароперегревателе фреона 5, в испаритель 6, где отбиралась тепловая энергия от геотермального теплоносителя, после испарителя 6 охлаждённый теплоноситель сбрасывался на рельеф 7. Для преодоления гидравлического сопротивления системы при увеличении расхода в данном варианте в схему вводился дополнительный насос 10, мощность насоса определялась исходя из сопротивления конкретной сети по результатам гидравлического расчёта с помощью программы ZuluThermo [4].

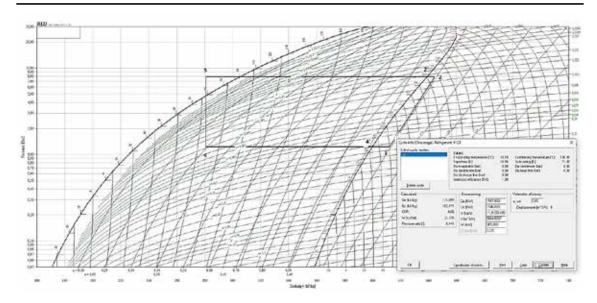


Рис. 3. Цикл теплонасосной установки (THY) с основными параметрами рабочего тела (R123) для варианта «качественного» регулирования: т. 1 – параметры пара фреона перед компрессором, т. 2 – параметры пара после компрессора, т. 2' – параметры фреона на начальной стадии конденсации в конденсаторе, т. 3 – параметры фреона перед дросселем, т. 4 – после дросселя перед испарителем, т. 4' – после испарителя.

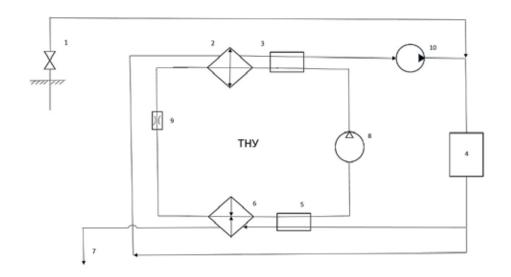


Рис. 4. Схема «количественного» регулирования с использованием ТНУ:
1 — добычная скважина; 2 — конденсатор ТНУ; 3 — пароохладитель фреона;
4 — обобщённый потребитель тепловой энергии; 5 — пароперегреватель фреона;
6 — конденсатор ТНУ; 7 — «сброс на рельеф» отработанного геотермального теплоносителя;
8 — компрессор ТНУ; 9 — дросселирующее устройство; 10 — насос

Геотермальный теплоноситель в объёме 88,06 т/ч направлялся в конденсатор 2, где нагревался за счёт конденсации фреона до требуемой температуры. График цикла (lg P и h-диаграмма) для варианта «количественного» регулирования приведён на рис. 5. Точка 1 на графике (рис. 5) характе-

ризует параметры пара фреона перед компрессором, т. 2 — параметры пара после компрессора, т. 2' — параметры фреона на начальной стадии конденсации в конденсаторе, т. 3 — параметры фреона перед дросселем, т. 4 — после дросселя перед испарителем, т. 4' — после испарителя.

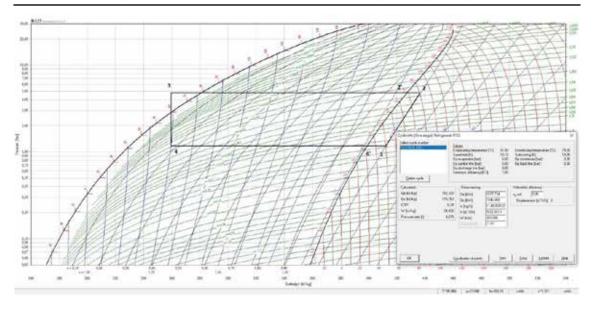


Рис. 5. Цикл теплонасосной установки (THV) с основными параметрами рабочего тела (R123) для варианта «количественного» регулирования. Обозначения аналогично рис. 3.

Расчётные параметры ТНУ для варианта «количественного» регулирования составили: температура в испарителе 31,9 °C, температура в конденсаторе 79 °C, перегрев пара перед компрессором до температуры 50 °C, переохлаждение фреона в конденсаторе перед дросселем Δt конд = 19 °C.

Температура сброса геотермальной воды в окружающую среду + 36,9 °C. Расчётный СОР $_{_{\rm THY}}$ для данного варианта равен 7,23.

Погрешность расчёта для обоих вариантов составила не более 0,2%.

Для анализа и сравнения вариантов данные сведены в таблицу.

Основные параметры циклов ТНУ для вариантов регулирования (энергорайон «Насосная № 3», с. Эссо Быстринского района Камчатского края)

	Вариант 1 «качественное» регулирование	Вариант 2 «количественное» регулирование
Действующая тепловая нагрузка потребителя, Гкал/ч	1,51	1,51
Дополнительная тепловая нагрузка, Гкал/ч	1,674	1,674
Расход геотермальной воды со скважины, т/ч	79,7	79,7
Температура геотермальной воды на устье скважины скважины, °С	74	74
Температура в «подающем» трубопроводе после конденсатора ТНУ, °С	95	74
Температура в «обратном» трубопроводе после потребителя, °С	55	55
Температура отработанной геотермальной воды (на выходе из испарителя), («сброс» на рельеф), °С	38,1	36,9
Температура геотермальной воды на входе в испаритель, °С	55	55
Температура геотермальной воды на входе в конденсатор, °С	74	55
Температура геотермальной воды на выходе из конденсатора, °С	95	74
Мощность электропривода компрессора, кВт	385,0	269,1
Мощность электропривода насоса для перекачки дополнительного объёма теплоносителя, кВт	0	15
Коэффициент трансформации теплового насоса (СОР тну)	5,06	7,23

Для обоих вариантов суммарная нагрузка при регулировании увеличивалась до 3,184 Гкал/ч, но при этом энергозатраты для варианта «количественного» регулирования (мощность электроприводов вместе с перекачивающим насосом) составили 284,1 кВт, в то время как для варианта «качественного» — значительно выше, 387,3 кВт. Таким образом, вариант 2 оказался более предпочтителен.

Заключение

Повышение эффективности использования флюида геотермальных месторождений – актуальная задача. Одним из методов увеличения мощности месторождения является применение ТНУ, которые позволяют повысить тепловую мощность за счёт снижения температуры сбросного геотермального теплоносителя.

Сравнение эффективности циклов производилось применительно к конкретной системе геотермального теплоснабжения с. Эссо Быстринского района Камчатского края, однако полученные результаты могут быть использованы для широкого круга систем геотермального теплоснабжения.

Проведённый анализ работы систем геотермального теплоснабжения для конкретного микрорайона с. Эссо показал, что «количественный» вариант регулирования («по расходу») с ТНУ более предпочтителен (в 1,44 раза), чем вариант «качественной» регулировки («по температуре») для данной сети. Вариант «количественного»

регулирования («по расходу») более предпочтителен и с позиции эффективности цикла ТНУ, и с позиции экологичности, поскольку он имеет более низкую температуру «сбросной» воды.

Для повышения эффективности эксплуатации геотермальных месторождений, использующих в схемах теплоснабжения ТНУ для повышения тепловой мощности, и снижения температуры «сброса», рекомендуется применять вариант «количественного» регулирования.

Список литературы

- 1. Кирюхин А.В., Сугробов В.М. Геотермальные ресурсы Камчатки и ближайшие перспективы их освоения // Вулканология и сейсмология. 2019. № 6. С. 50–65. DOI: 10.31857/S0203-03062019650-652.
- 2. Богуславский Э.И. Освоение тепловой энергии недр: монография. СПб.: Наукоемкие технологии, 2020. 435 с.
- 3. Рафальская Т.А., Мансуров А.Р., Мансурова И.Р. Исследование переменных режимов работы систем централизованного теплоснабжения при качественно-количественном регулировании // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2019. Т. 10. № 2. С. 79–91. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.1.07.
- 4. ZuluThermo моделирование гидравлических режимов в тепловых сетях [Электронный ресурс]. URL: https://www.politerm.com/products/thermo/zuluthermo/ (дата обращения: 23.08.2022).
- 5. Леонов В.П., Воронов В.А., Апсит К.А., Ципун А.В. Цикл Ренкина с низкопотенциальным источником теплоты // Инженерный журнал: наука и инновации. 2015. Вып. 2. [Электронный ресурс]. URL:http://engjournal.ru/catalog/pmce/mdpr/1368.html. DOI: 10.18698/2308-6033-2015-2-1368.
- 6. Бутузов А.В Геотермальное теплоснабжение с использованием тепловых насосов. Российский опыт // Энергосбережение. 2022. № 2. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=8047 (дата обращения: 03.08.2022).

УДК 624.139

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ ПОМЕЩЕНИЙ ТЕПЛОТОЙ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ВОДЫ

Кузьмин Г.П., Куваев В.А.

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, e-mail: gpkuzmin@mpi.ysn.ru

Для управления температурным режимом помещений в зимнее время расходуется огромное количество теплоты, получаемой из различных источников энергии, в том числе из возобновляемых. Производство тепловой энергии в большинстве случаев сопровождается тем или иным нарушением состояния окружающей среды. Одним из перспективных возобновляемых источников энергии, в наибольшей степени удовлетворяющих экологическим требованиям, является теплота фазового перехода воды. Аккумулирование в воде при таянии льда относительно большого количества энергии в теплое время года и выделение ее при замерзании воды в холодное время года создают возможность использования теплоты фазовых переходов воды для обогрева помещений в холодное время года до высоких отрицательных температур, близких к 0 °С. В статье указаны основные уникальные свойства воды, от которых зависят эффективность и технология ее использования. Приведена технология накопления и использования тепла для обогрева помещений в холодное время года. Приведены приближенные зависимости потерь тепла из опытного помещения и параметров обогревателя, основанного на использовании теплоты фазовых переходов воды. Представлены результаты расчетов параметров обогревателя опытного помещения, испытания которого были проведены в суровых климатических условиях г. Якутска. Приведены основные результаты испытания опытного объекта, подтвердившие практическую возможность и целесообразность использования теплоты фазовых переходов воды для обогрева ряда видов производственных помещений. Установлена необходимость некоторого уточнения расчетов параметров водяного аккумулятора тепла.

Ключевые слова: вода, лед, температура, теплота фазового перехода, аккумулятор, помещение, теплопередача, объем, площадь

TEST RESULTS OF A DEVICE FOR CONTROLLING THE TEMPERATURE REGIME OF PREMISES BY THE HEAT OF THE PHASE TRANSITION OF WATER

Kuzmin G.P., Kuvaev V.A.

Permafrost Institute. P.I. Melnikov Institute of Permafrost Science, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: gpkuzmin@mpi.ysn.ru

In order to control the temperature regime of rooms in winter, a huge amount of heat is consumed from various, including renewable energy sources. The production of thermal energy in most cases is accompanied by some kind of environmental disturbance. One of the most promising renewable sources of energy that best meets environmental requirements is the phase transition heat of water. Accumulation of a relatively large amount of energy in water during ice melting in the warm season and its release during freezing of water in the cold season make it possible to use the heat of phase transition of water for heating the premises in the cold season to high negative temperatures close to 00 C. The article specifies the main unique properties of water, which determine the efficiency and technology of its use. The technology of accumulation and use of heat for space heating during the cold season is given. Approximate dependences of the heat loss from the experimental room and the parameters of the heater based on the use of the heat of phase transitions of water are given. The results of calculations of the heater parameters of an experimental room, the tests of which were carried out in the harsh climatic conditions of Yakutsk are presented. The main results of the testing of the experimental object, which confirmed the practical possibility and expediency of using the heat of phase transitions of water for heating a number of types of industrial premises are presented. The necessity of some specification of calculations of parameters of the water heat accumulator is established.

Keywords: water, ice, temperature, heat of phase transition, accumulator, room, heat transfer, volume, area

Большая часть территории России характеризуется холодным климатом, где в зимнее время на отопление жилых и производственных помещений затрачивается огромное количество тепловой энергии, получаемой из различных источников с различной степенью влияния на окружающую среду [1, 2]. В качестве возобновляемого источника энергии, оказывающего минимальное воздействие на окружающую среду, в работе рассматривается возможность использования теплоты фазового перехода воды [3–5]. Технология обогрева поме-

щений в зимнее время теплотой фазового перехода воды до высоких отрицательных температур состоит в аккумулировании водой теплоты, затрачиваемой на плавление льда в летнее время под действием солнечной радиации, и использовании теплоты, выделяемой в процессе замерзания воды в зимнее время [6].

Цель работы — показать практическую возможность и эффективность использования теплоты фазового перехода воды для обогрева на большей части территории России, включая арктические ее районы.

Материалы и методы исследования

1. Свойства воды как возобновляемого источника тепла

Вода является уникальным веществом, изменяющим свои свойства в зависимости от температуры и давления [7]. При изменениях температуры и давления вода может находиться, как известно, в твердом, жидком и газообразном состояниях. При земных давлениях и температурах она, в отличие от других веществ, может одновременно находиться во всех трех состояниях. В данной работе рассматривается возможность использования для обогрева помещений теплоты, выделяемой при кристаллизации воды. Поэтому кратко приведем изменения свойств воды при переходах ее из твердого состояния в жидкое и обратно. При этих фазовых переходах воды выделяется или поглощается одинаковое относительно большое количество теплоты, равное 335 кДж/кг, что значительно больше теплоты фазовых переходов многих других веществ. Так, например, теплота плавления парафина в 2,3 раза, стали в 4,0 раза меньше теплоты плавления льда, а температура плавления их равна соответственно 54 и 1300–1500 °С [8]. Эти данные показывают возможность практического использования теплоты, выделяемой водой при замерзании. Существенными особенностями воды являются скачкообразные изменения теплопроводности и плотности ее при переходах лед – вода – лед и особый характер изменения плотности при изменении температуры. Коэффициент теплопроводности чистого льда равен около 2,22, а воды — около 0,57 Вт/(м К). Плотность льда составляет около 0,9 г/см³, воды при 0 °С — 1 г/см³, что приводит к плавучести льда. Расширение воды при замерзании в сосудах вызывает деформации и разрушения их. При повышении температуры от 0 до 4 °С плотность воды возрастает, а при дальнейшем повышении температуры снижается. Поэтому конвективное перемешивание воды имеет сложный характер. Эти особенности воды должны учитываться при разработке технологии аккумулирования и использования теплоты фазовых переходов воды.

2. Расчетные зависимости определения параметров помещения и водяных аккумуляторов тепла

Потери тепла из помещения за холодный период года зависят от климатических условий места расположения объекта, размеров и термического сопротивления стен ограждающих конструкций и заданной температуры помещения, а также потерь на технологические процессы и определяются суммой потерь через перекрытие $Q_{\rm II}$, стены $Q_{\rm C}$, полы $Q_{\rm IID}$ помещения, открытые ворота при воздухообмене с наружным воздухом $Q_{\rm R}$ и на технологические процессы $Q_{\rm T}$:

$$Q = Q_{\rm II} + Q_{\rm c} + Q_{\rm non} + Q_{\rm B} + Q_{\rm T}. \tag{1}$$

Составляющие суммарных потерь тепла из опытного помещения (гаража) приближенно определим по следующим зависимостям [9]:

$$Q_{_{\Pi}} = kk_{_{\Pi}}S_{_{\Pi}}(t_{_{2}} - t_{_{1}})(\tau - \tau_{_{0}}); \tag{2}$$

$$Q_{c} = kk_{c}S_{c}(t_{2} - t_{1})(\tau - \tau_{0});$$
(3)

$$Q_{\text{non}} = kk_{\text{non}}S_{\text{non}} \left[\left(t_2 - t_4 \right) \left(\tau - \tau_0 \right) \right]; \tag{4}$$

$$Q_{\rm B} = 2n_a n_{\rm pq} c_{\rm B} \rho_{\rm B} V_{\rm B} (t_2 - t_1) + k k_a S_a (t_3 - t_1) \tau_0; \tag{5}$$

$$Q_{\rm T} = n_a n_{\rm p, T} \left[c_{\kappa} m_k \left(t_2 - t_1 \right) + c_{\rm T} m_{\rm T} \left(t_2 - t_{\rm T} \right) + c_{\rm c} m_{\rm c} \left(t_2 - t_{\rm c} \right) \right], \tag{6}$$

где $k, k_{\rm n}, k_{\rm c}, k_{\rm non}$ и k_a — коэффициенты перевода метрической системы в систему СИ и теплопередачи через ограждающие конструкции помещения и ледяную стенку водяных аккумуляторов тепла; n_a и $n_{\rm pq}$ — количество автомобилей в гараже и зимних рабочих дней; $S_{\rm n}, S_{\rm c}, S_{\rm non}$ и S_a — площади теплообменной поверхности перекрытия, стен, полов помещения и водяных аккумуляторов тепла, определяемые вследствие большой толщины стен, в отличие от рекомендаций [10],

по внутренним размерам; t_1 , t_2 , t_3 и t_4 — средние за холодный период года температуры наружного воздуха, помещения, воды в аккумуляторе и грунта в основании помещения; τ и τ_0 — продолжительность периодов с отрицательной температурой наружного воздуха и открытого положения ворот помещения; $c_{\rm B}$, $c_{\rm k}$, $c_{\rm g}$ и $c_{\rm c}$ — удельные теплоемкости воздуха и материалов корпуса, двигателя и салона автомобиля в кДж /(кг K); $\rho_{\rm B}$ — плотность воздуха в помещении; $V_{\rm p}$ — объем воз-

духа в помещении; m_k , m_π и $m_{\rm c}$ – средняя масса корпуса, двигателя и салона автомобиля; $t_{_{\Pi}}$ и $t_{_{\rm c}}$ — температуры двигателя и салона в момент въезда автомобиля в гараж.

Входящие в (2)–(6) параметры приближенно можно выразить зависимостями:

- коэффициенты теплопередачи через плоские поверхности ограждающих конструкций помещения [8] с учетом скорости движения воздуха:

$$k_{i} = \frac{1}{\frac{1}{a_{1i}} + \sum \frac{\delta_{i}}{\lambda_{i}} + \frac{1}{a_{2i}}},$$
 (7)

где $a_{1i} = 5,6+3,9v_{1i}^2$ $Bm/(M^2K)$ – коэффициент теплоотдачи на і-й внутренней поверхности стенки; v_{1i} – скорость движения воздуха на і-й внутренней поверхности стенки в м/с; $a_{2i}=5,6+3,9v_{2i}^2$, $Bm/(M^2K)$ – коэффициент теплоотдачи на i-й наружной поверхности стенки; v_{2i} – скорость движения воздуха на і-й наружной поверхности стенки в м/c; δ_i и λ_i — толщина и коэффициент теплопроводности і-го слоя – перекрытия и стены помещения 1-3, полов 4-6;

- количество рабочих дней в период отрицательных температур наружного воздуха:

$$n_{\rm p, T} = \frac{\tau - 24n_{\rm np}}{24 \cdot 7} 5,\tag{8}$$

где $n_{\rm np}$ – количество праздничных дней в период отрицательных температур наружного воздуха;

 продолжительность открытого состояния ворот в период отрицательных температур наружного воздуха:

$$\tau_0 = 2n_a n_{\rm p, T} \tau_{\rm B}, \tag{9}$$

где $\tau_{_{g}}$ – продолжительность разового открытия ворот;

– объем воздуха в помещении, принимаемый без учета объема воды в аккумулято-

$$V_{\rm B} = (b - 2\delta_{\rm c})(l - 2\delta_{\rm c})(h - \delta_{\rm c} - \delta_{\rm m}). \quad (10)$$

Суммарное количество притока тепла из аккумулятора в помещение в холодный период года:

$$Q_a = \mathbf{k} \, k_a S_a \Big[\big(t_3 - t_2 \big) \big(\tau - \tau_0 \big) + \big(t_3 - t_1 \big) \tau_0 \Big].$$
 Из равенств (1) и (11) находим:

окончательное выражение потерь тепла из помещения,

$$Q = \left[Q_{\text{II}} + Q_{\text{c}} + Q_{\text{пол}} + Q_{\text{T}} + 2n_{a}n_{\text{рд}}c_{\text{B}}\rho_{\text{B}}V_{\text{B}}(t_{2} - t_{1}) \right] \left[1 + \frac{(t_{3} - t_{1})\tau_{0}}{(t_{3} - t_{2})(\tau - \tau_{0})} \right], \tag{12}$$

и зависимость расчетной площади цилиндрического аккумулятора,

$$S_{a} = \frac{Q}{kk_{a} \left[(t_{3} - t_{2})(\tau - \tau_{0}) + (t_{3} - t_{1})\tau_{0} \right]}.(13)$$

Необходимое количество воды в аккумуляторах для обогрева помещения в течение всего холодного периода года определяется по формуле

$$V = Q / Q_{a}, \tag{14}$$

 $V = Q \ / \ Q_{\phi} \ , \eqno(14)$ где Q_{ϕ} — объемная теплота фазового пере-

Коэффициент теплопередачи через боковую поверхность приведенного цилиндрического аккумулятора определяется зависимостью [8]:

$$k_{a} = \frac{1}{\frac{1}{a_{1}} \frac{d_{2}}{d_{1}} + \frac{d_{2}}{2\lambda_{1}} ln \frac{d_{2}}{d_{1}} + \frac{1}{a_{2}}}, \quad (15)$$

где a_1 – коэффициент теплоотдачи поверхности льда в воде; $a_2 = 5, 6+3, 9v_2^2$ – коэффициент теплоотдачи на поверхности аккумулятора в помещении; v_2 – скорость движения воздуха вдоль наружной поверхности аккумулятора; $\lambda_{_{\pi}}$ – коэффициент те-

плопроводности льда;
$$d_1 = \sqrt{\frac{2V}{\pi l_a}}$$
 — сред-

ний за зиму диаметр льда в аккумуляторе;

$$d_2 = \sqrt{rac{4V}{\pi l_a}} \,$$
 — диаметр аккумулятора.

Результаты исследования и их обсуждение

В опытном помещении (гараже) установлены водяные аккумуляторы тепла прямоугольной формы в количестве 8 шт. Расчет притока тепла в помещение выполнен по приведенным зависимостям цилиндрического аккумулятора (11), (13) и (15).

Ширина прямоугольного аккумулятора должна быть

$$b_a > 2\zeta . (16)$$

b

9,0

λ,

0,043

l

12,0

λ,

0,16

B формуле (16) приближенно
$$\zeta = \sqrt{\frac{2\lambda_i\left(-t_2\right)\tau}{Q_\phi}} - \text{максимальная толщина}$$

льда на стенках аккумулятора в конце зимнего периода.

Толщина слоя воды в прямоугольном аккумуляторе определяется зависимостью

$$h_a = \frac{Q}{b_a l_a} \,. \tag{17}$$

В табл. 1–3 приведены величины для расчетов потерь тепла из опытного помещения и параметров водяных аккумуляторов тепла.

Результаты расчетов приведены в табл. 4. Из табл. 4 видно, что при принятой одинаковой удельной передаче тепла через перекрытие и стены одноэтажных помещений потери тепла через стены максимальны

h

3,5 BT/

 λ_3

0,038

1,55

вследствие большей их площади. Небольшие потери тепла в основание помещения обусловлены незначительным перепадом температур воздуха в помещении и грунта в основании. Относительно высокие потери тепла через открытые ворота при выезде и въезде автомобилей, очевидно, будут уменьшаться при увеличении размеров помещения в связи с уменьшением степени воздухообмена. При въезде в гараж легковых автомобилей приток тепла от нагретых двигателя и салона превышает потери тепла на нагрев охлажденного кузова автомобилей.

Таблица 1
Расчетные климатические данные на опытной площадке в г. Якутске [7]

τ, ч	t,°C	v ₂ , м/с
5016	-22,1	1,2

-3

1.2

Таблица 2

Таблица 3

Параметры опытного помещения

	параметры опытного помещения									
		N	И							
	$\delta_{\rm c}$	$\delta_{_1}$	δ_2	δ_3	$\delta_{_4}$	$\delta_{\scriptscriptstyle 5}$	$\delta_{_6}$			
	0,35	0,30	0,001	0,008	0,20	0,10	10,0			
/(M ·K)				0	С	м/с				
	$\lambda_{\scriptscriptstyle A}$	λ_{5}	λ_{6}	t,	$t_{\scriptscriptstyle A}$	v_2				

-2

Заданные параметры водяных аккумуляторов

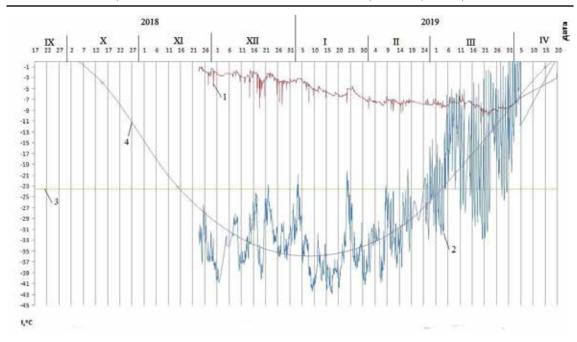
0,043

<i>V</i> , м ³	п, шт	b _a	1 _a	$\lambda_{_{\!\scriptscriptstyle m I\!\! I}}$	v_1
44,5	8	1,5	22,0	2,32	0,2

Таблица 4 Результаты расчетов параметров и величин потерь тепла из помещения и параметров водяных аккумуляторов тепла

2,0

k	$k_{_{\mathrm{II}}}=k_{_{\mathrm{c}}},$	$k_{_{ m IIOJI}}$	k_{a}	n_{a}	$n_{_{\mathrm{p}\mathrm{J}}}$	$ au_0$	$V_{_{\rm B}}$
	Bt/(m²K)			ШТ	сут	Ч	\mathbf{M}^3
3,61	0,134	0,134	3,37	2	142	28,4	263
Q_n	Q_c	Q_{m}	$Q = Q_a$	Q _{пол}	$Q_{_{\rm B}}$	S _n	S _c
		кД	Įж			N	\mathbf{I}^3
4552203	5436045	-102229	14896774	226532	3901566	94	112
S_{non}	S_{0}	V	h _a				
\mathbf{M}^2 \mathbf{M}^3			M				
94	125,4	44,5	1,35				



Графики изменения температуры воздуха в период испытания опытного объекта в 2018–2019 гг. 1 — температура воздуха в помещении; 2 — температура наружного воздуха; 3 — средняя многолетняя температура наружного воздуха; 4 — измеренная температура наружного воздуха в период испытания объекта

На рисунке представлены графики температуры наружного воздуха и опытного гаража в зимние месяцы в г. Якутске. Результаты эксперимента подтверждают практическую возможность использования теплоты фазовых переходов воды для обогрева помещений даже в очень суровых климатических условиях.

Из рисунка следует некоторое несоответствие расчетной и экспериментальной температур воздуха помещения. В начале зимы экспериментальные температуры соответствовали расчетной температуре, равной -2 °C. В период существенного падения температуры наружного воздуха в январе произошло понижение температуры помещения в течение месяца примерно до -6 °C, и она оставалась на этом уровне, несмотря на повышение температуры наружного воздуха, почти до конца эксперимента. Это можно объяснить уменьшением площади поверхности теплообмена льда с водой в аккумуляторах, что в расчетах не учитывалось.

Заключение

Проведенные испытания опытного помещения в субарктической зоне показали практическую возможность широ-

кого применения технологии использования теплоты фазовых переходов воды для управления температурным режимом различных видов производственных помещений. Понижение температуры воздуха в помещении во второй половине зимы, когда температура наружного воздуха повышается, вызвано уменьшением теплообменной поверхности льда в аккумуляторах и соответствующим снижением теплопередачи в помещение. Поддержание температуры помещения в течение всего холодного периода года в пределах заданного значения может быть достигнуто некоторым увеличением количества воды в аккумуляторах.

Список литературы

- 1. Шишелова Т.И., Толстой М.Ю. Современное состояние науки о воде. Проблемы и перспективы // Научное обозрение. Реферативный журнал. 2016. № 4. С. 61–80.
- 2. Юмаев Н.Р. Экологические аспекты применения возобновляемых источников энергии // Современные тенденции технических наук: материалы VI Междунар. науч. конф. (г. Казань, май 2018 г.). Казань: Молодой ученый, 2018. С. 16, 21
- 3. Бараненко А.В., Кузнецов П.А., Захарова В.Ю., Цой А.П. Применение веществ с фазовыми переходами для аккумулирования тепловой энергии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 6. С. 990–1000. DOI: 10.17586/2226-1494-2018-18-6-990-1000.

- 4. Кузьмин Г.П. Новые технологии использования теплоты фазовых переходов воды // Международный журнал им.
- прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 5–2. С. 217–221. 5. Кузьмин Г.П., Куваев В.А. Вода как аккумулятор солнечной энергии // Международный журнал прикладных
- 6. Патент № 2617579 Российская Федерация. МПК «Устройство для поддержания околонулевой температуры в закрытых помещениях» Кузьмин Г.П., заявитель и патен-

и фундаментальных исследований. 2019. № 9. С. 80-84.

- тообладатель Учреждение РАН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (RU). Опубл. 25.04.2017.
- 7. Сафаров М.Г. Про воду. Уфа: Гилем, Башкирская энциклопедия, 2014. 152 с.
- 8. Ехнович А.С. Краткий справочник по физике. 2-е изд., перераб. и доп. М.: «Высшая школа», 1976. 288 с.
- 9. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. 3-е изд. М.: Энергия, 1975. 488 с.
- 10. Малявина Е.Г. Теплопотери зданий: справочное пособие. М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. 144 с.

УДК 622.244

АНАЛИЗ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ПРИХВАТОВ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ НА ХАРАСАВЭЙСКОМ ГАЗОКОНДЕНСАТНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Селиванов Н.С., Комаров С.А., Чудинова И.В.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург, e-mail: s180915@stud.spmi.ru

В статье приводится комплексный анализ мероприятий по минимизации рисков прихватообразования на Харасавэйском газоконденсатном месторождении. Определена актуальность проблемы на месторождении, описана методика исследований, дана краткая характеристика месторождения, представлен профиль, указаны начальные сведения о предлагаемой скважине, подобраны компоновки низа бурильной колонны. На основании вводных данных был произведен сравнительный анализ результатов силового (Torque and drag анализ) и гидравлического (оценка концентрации шлама, толщины шламовой подушки, эквивалентной циркуляционной плотности) расчета при бурении интервала под промежуточную колонну. Вышеуказанный интервал бурения является наиболее проблемным с точки зрения образования прихватов и тем самым актуализирует выбор рассматриваемого интервала. Предлагается осуществление бурения с помощью роторной управляемой системы или с помощью гидравлического забойного двигателя. Расчеты производились при помощи программного обеспечения Landmark WellPlan®. На основании полученных расчетов были подобраны оптимальные режимные параметры бурения, позволяющие минимизировать риск возникновения прихвата, а также сделаны выводы о целесообразности применения указанных компоновок. Также ввиду весомого влияния промывочной жидкости на предотвращение образования прихватов бурильной колонны был произведен обзор современных ингибирующих буровых растворов. Предложено рассмотреть несколько типов промывочных жидкостей: биополимерный ингибированный буровой раствор, раствор на углеводородной основе и полимерглинистый раствор. Для анализа были выбраны буровые растворы на основании существующих патентов. Указаны преимущества использования каждого раствора и сделан вывод о применении наиболее эффективного бурового раствора в условиях проходки в активных глинах.

Ключевые слова: бурение скважин, прихваты, роторная управляемая система, винтовой забойный двигатель, буровой раствор, ингибирование

ANALYSIS OF METHODS TO PREVENT STICKING OF THE DRILL STRING AT THE KHARASAVEY GAS-CONDENSATE FIELD

Selivanov N.S., Komarov S.A., Chudinova I.V.

Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, e-mail: s180915@stud.spmi.ru

This article provides a integrated analysis of measures to minimize the risks of sticking formation at the Kharasavey gas condensate field. The urgency of the problem at the field is indicated, the research methodology is indicated, a brief description of the field is given, the profile is presented, initial information about the proposed well is indicated, the layout of the bottom of the drill string is selected. Based on the input data, a comparative analysis of the results of the power (Torque and drag analysis) and hydraulic (evaluation of the sludge concentration, the cutting bed height, equivalent circulation density) calculation was performed in the process of drilling the interval for the intermediate casing string. This drilling interval is the most problematic from the point of view of the formation of sticking, the rationale for choosing the interval under consideration is given. It is proposed to drill using a rotary steerable system or using a positive displacement motor. Calculations were performed using Landmark WellPlan® software. Based on the calculations obtained, the optimal operating parameters of drilling were selected, and conclusions were drawn about the feasibility of using these layouts. Also, due to the significant influence of the drilling mud on the prevention of the formation of sticking of the drill string, a review of modern inhibitory drilling fluids was carried out. It is proposed to consider several types of washing liquids: biopolymer inhibited drilling mud, oil-based mud and polymer-clay based. Drilling fluids were selected for analysis based on existing patents. The advantages of using each drilling mud are indicated and a conclusion about the use of the most effective drilling mud in the conditions of penetration in active clays is made.

Keywords: well drilling, sticking, rotary steerable system, positive displacement motor, drilling mud, inhibition

Одним из наиболее серьезных и распространенных осложнений, встречающихся при бурении скважин, является прихват бурильной колонны. Прихватом называется потеря подвижности бурильной колонны или скважинных приборов, которая не восстанавливается даже при приложении максимально допустимых нагрузок.

Причины прихватов разнообразны. Главным образом прихватообразованию способствуют: горно-геологические условия вскрываемого разреза; неудовлетворительная очистка ствола скважины от шлама; сужения и потери устойчивости ствола скважины вследствие осыпей, обвалов и ползучести горных пород; сальникои желобообразования; седиментационная неустойчивость бурового раствора; продолжительное оставление инструмента в скважине без движения; прижатие колонны труб вследствие перепада давления в скважине и пласте.

Согласно статистике [1] на долю прихватов приходится 25% всех осложнений при бурении и 30-70% всего непроизводительного времени. В работах [1, 2] указано, что на месторождениях Приобья в период 2005-2009 гг. доля прихватов в общем числе осложнений составила 60%, а 40% скважин, в которых произошло данное осложнение, подлежали ликвидации или перебуриванию. Временные затраты на ликвидацию прихватов составляют порядка 47% от времени бурения. Можно сделать вывод, что подобный вид осложнения приносит буровым компаниям многомиллионные убытки ввиду значительного увеличения времени на его ликвидацию, а также, в случае перебуривания скважины, приводит к отклонению от проектных гидродина-

Таким образом, разработка методов предотвращения прихватов является актуальной задачей.

мических условий притока.

В качестве исследуемого месторождения будет рассмотрено Харасавэйское газоконденсатное месторождение (ГКМ), которое расположено на полуострове Ямал. Месторождение относится к категории уникальных: запасы газа, расположенные частично в акватории Карского моря, составляют около 2 трлн м³ [3]. Перспективным это месторождение является по причине того, что часть его запасов, находящихся на шельфе, может быть разработана путем бурения горизонтальных скважин под дно Карского моря. Поэтому, помимо существующих преимуществ горизонтальных скважин и скважин со сложным профилем [4-6], можно достичь максимально полного охвата залежи без обустройства морской инфраструктуры, что подразумевает сокращение финансовых и временных затрат на бурение скважин.

Одной из существенных проблем, встречающихся при бурении скважин на Харасавэйском ГКМ, является прихватообразование, так как присутствуют геологическая сложность и неоднородность вскрываемого разреза, а именно – наличие активных глин, склонных к гидратации. Помимо этого образованию рассматриваемого осложнения способствует плохая ингибирующая способность применяемого бурового раствора.

Материалы и методы исследования

В работе рассматриваются технико-технологические меры по предотвращению прихватообразования на Харасавэйском газоконденсатном месторождении. Для сравнительного анализа технологий, снижающих

риски прихватов, были использованы следующие методы исследования: аналитический обзор литературных источников по исследуемой теме, а также моделирование и проведение вычислительного эксперимента.

Для расчетов гидравлических и механических параметров использовалось программное обеспечение Landmark Wellplan® Software [7]. Данное приложение позволяет моделировать дизайн скважин, предотвращать прихваты колонны труб и поломки забойной компоновки бурильной колонны, уменьшить проблемы при бурении и бурить более эффективно.

Краткая характеристика скважины и обозначение проблемного участка

Разрез Харасавэйского ГКМ преимущественно осложнен наличием песчаников, алевролитов и различных видов глин. Именно глины, представленные по всему вскрываемому разрезу, осложняют процесс бурения и влияют на процесс прихватообразования. Их активное взаимодействие с компонентами раствора приводит к набуханию глинистых отложений, а позднее образует прихват. Также при бурении скважин встречаются осыпи, обвалы и сужения ствола скважины вследствие проходки глинистых отложений. Подобные осложнения позволяют сделать вывод о неустойчивости ствола скважины. В результате создается необходимость качественного подхода к выбору типа используемой промывочной жидкости.

Пример профиля скважины представлен на рис. 1. Предлагается выбрать пятиинтервальный профиль с субгоризонтальным окончанием для дренирования всей продуктивной толщи пласта $T\Pi_{10}$, залегающей на глубине 1620-1801 м. Отход скважины от вертикали составляет 3294 м, что обусловлено нахождением проектного забоя скважины в акватории Карского моря.

В работе рассмотрен интервал бурения под промежуточную колонну 550/550-1383/1800 м. Интервал включает в себя участок набора зенитного угла (ЗУ), участок стабилизации и участок донабора ЗУ. Промежуток является проблемным с точки зрения транспорта шлама на дневную поверхность, поскольку ЗУ на интервале равен 52°, а следовательно, он подвержен наиболее интенсивному оседанию шлама и налипанию его на стенки скважины (так называемый эффект Бойкотта, согласно которому частицы, находящиеся в наклонном цилиндре, начинают осаждаться быстрее, чем в вертикальном [8]).

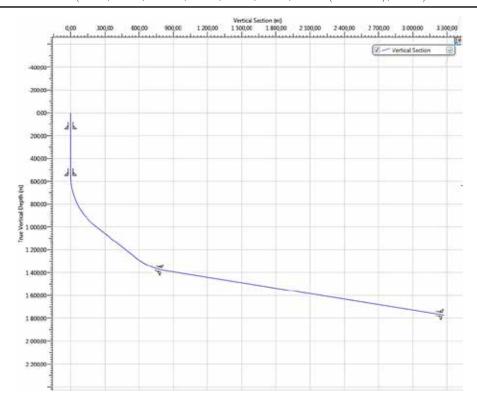


Рис. 1. Предлагаемый профиль скважины

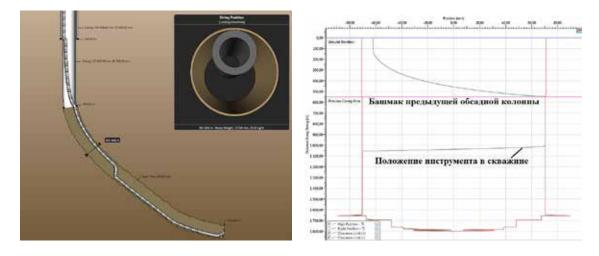


Рис. 2. Прижатия бурильной колонны к стенке скважины (схема – слева, график – справа)

На схеме и графике, представленных на рис. 2, видно, что бурильная колонна прижимается к верхней стенке скважины на интервале 550–1000 м, а к нижней — на интервале 1062–1755 м по стволу. Из этого следует, что почти на всем интервале бурения под промежуточную колонну вероятнее образование дифференциального прихвата ввиду протяженной площади кон-

такта инструмента со стенками скважины, а также желобной выработки из-за прижатия бурильных замков к открытому стволу.

Поскольку интервал представлен участками набора и донабора, то при бурении гидравлическим забойным двигателем (ГЗД) возникают сложности с переходом между режимами «слайдирования» (без вращения колонны) и вращения (с вращением колонны и силовой секции ГЗД), что влечет за собой появление спиралевидных и волнообразных выработок и увеличение коэффициента трения в открытом стволе, то есть можно судить о том, что увеличивается возможность прихватообразования.

Кроме этого, если интервал под эксплуатационную колонну можно пробурить только с использованием интеллектуальных систем (роторными управляемыми системами (РУС) или РУС с силовой секцией) ввиду сложности контроля за искривлением при бурении забойными двигателями, то для интервала под промежуточную колонну возможно применение как РУС, так и ГЗД. Необходимо рассмотреть возможность применения компоновок с использованием как РУС, так и ГЗД, комплексно проанализировать перспективность их применения с точки зрения предотвращения прихватов, а также установить параметры, позволяющие снизить риски образования прихватов при бурении

Результаты исследования и их обсуждение

На процесс прихватообразования оказывает большое влияние выбор способа бурения. Безусловно, классикой нефтегазового бурения является вращательный способ с применением РУС или ГЗД.

Для комплексного анализа применения компоновки нижней части бурильной колонны (КНБК) (рис. 3), включающих гидравлический забойный двигатель и роторную управляемую систему, был произ-

веден расчет силовых и гидравлических параметров, а также проанализирована динамика компоновок при бурении интервала под промежуточную колонну. Далее, по результатам расчета обозначены оптимальные режимные параметры для каждой компоновки, приведены положительные и отрицательные стороны их применения.

Силовой расчет показал, что при осевой нагрузке в 60 кН сохраняется устойчивость для обеих компоновок, при этом данной нагрузки достаточно для разрушения породы. Что касается гидравлического расчета, то при бурении компоновкой с РУС со скоростью вращения бурильной колонны 120 об/мин и расходом 46 л/с удается полностью исключить образование шламовой подушки при сохранении максимально допустимой механической скорости 25 м/ч.

Для компоновки с ГЗД результаты расчета гидравлических параметров показали следующее: при скорости вращения бурильной колонны 40 об/мин, скорости вращения долота 120 об/мин и максимально допустимом расходе 50 л/с (для данного ГЗД) наблюдается небольшое увеличение концентрации шлама до 3% на участке донабора зенитного угла, при условии снижения механической скорости до 18 м/ч. Соблюдение данных параметров сокращает вибрации, возникающие при бурении; обеспечивается необходимая очистка ствола скважины, что позволяет минимизировать трение в открытом стволе и налипание шлама, а значит, уменьшить риски возникновения прихвата.

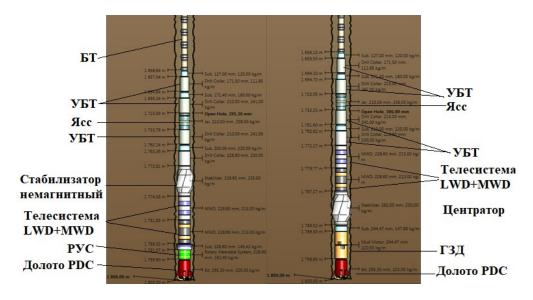


Рис. 3. КНБК с РУС (слева), КНБК с ГЗД (справа)

Оценка эквивалентной циркуляционной плотности (ЭЦП) не выявила значительного ее увеличения, что означает сохранение минимально допустимой репрессии во время бурения.

Выводы, полученные в ходе проведенного расчета и анализа:

- применение РУС и интенсивное вращение колонны приводит к турбулизации потока, переносу шлама в зоны с более высокими скоростями восходящего потока (этот факт создает возможность предотвращения прихватообразования);
- необходимость использования ГЗД в режиме слайда и вращения увеличивает микроизвилистость ствола скважины, что приводит к увеличению коэффициента трения в открытом стволе, а также к появлению посадок и затяжек, что несколько увеличивает возможность образования прихвата. В дополнение наблюдается снижение механической скорости проходки (МСП) на 28% в сравнении с РУС. Следует уточнить, что увеличение МСП необходимо в условиях бурения участка, сложенного активными глинами. Применение ГЗД как таковое не может минимизировать прихват, однако выбор оптимальных режимных параметров позволяет создать обстоятельства, при которых риск возникновения прихвата будет минимальным.

Одной из основных мер по предотвращению прихватов является правильный подбор типа промывочной жидкости, которая ингибирует активные глины (склонные к набуханию) и обеспечивает устойчивость ствола скважины.

Ингибирующая способность — это способность буровой промывочной жидкости предупреждать или замедлять деформационные процессы в околоствольном пространстве скважины, представленном легко гидратирующимися и набухающими глинистыми горными породами. Ингибирование набухания глин достигается различными путями, но наиболее распространенным является уменьшение поверхностной гидратации за счет замены катиона обменного комплекса глин менее гидратирующимся [9].

На данный момент существует три основных типа промывочных жидкостей, которые применяются с целью ингибирования глин:

1. Биополимерный ингибированный раствор. В качестве примера выступает буровой раствор на основе ксантанового биополимера марки Гаммаксан [10]. Структурообразователем является ксантано-

- вая смола, понижающая фильтрационные свойства раствора и придающая ему тиксотропные свойства. В качестве ингибитора глинистых отложений выступает хлорид калия, образующий плотную непроницаемую корку и исключающий взаимодействие водной фазы раствора с породой. Благодаря применению раствора улучшается вынос шлама и, соответственно, снижается риск прихватообразования.
- 2. Раствор на углеводородной основе (РУО). Предлагается применение инвертного эмульсионного высокоингибированного раствора «Полиэмульсан» [11]. Дисперсионной средой раствора является композиция минеральных и остаточных масел, схожих по природе с добываемыми углеводородами. К преимуществам относится отсутствие химического взаимодействия с горной породой, а также высокая смазывающая способность. В случае разработки вышележащего пласта ПК1 применение раствора позволит максимально уменьшить зону кольматации и инфильтрации промывочной жидкости. В качестве ингибитора выступает известь, которая, помимо прочего, позволяет снизить активность глин и исключить возможность возникновения прихвата. Данный раствор хорошо зарекомендовал себя при бурении в сложных геологических условиях на Уренгойском [11], Северо-Еситинском [12] и других месторождениях.
- 3. Полимерглинистый раствор. Рассматривается использование полимерглинистого бурового раствора, который обладает высокими ингибирующими свойствами и низкими значениями показателя фильтрации промывочной жидкости [13]. Основные использованные добавки для ингибирования формиат натрия и жидкое стекло, которые предотвращают гидратацию глинистых пород. Раствор отличает более устойчивое состояние ствола скважины в глинистых породах, что минимизирует вероятность возникновения прихвата.

Следовательно, наиболее эффективным вариантом использования на данном интервале бурения является раствор на углеводородной основе «Полиэмульсан» по причине его инертности по отношению к горным породам и высоким смазывающим свойствам на проблемном участке, где наблюдается протяженная зона контакта бурового инструмента со стенками скважины. Также раствор позволяет снизить активность глин, что особенно важно в зоне контакта. Соответственно, уменьшаются силы трения в стволе скважины, а значит, исключается

возможность возникновения прихвата. Помимо этого, «Полиэмульсан» рекомендуем для вскрытия продуктивного горизонта, и существует возможность его повторного использования после очистки, что позволяет увеличить экономические показатели бурения. Стоит также упомянуть, что с целью предотвращения прихватов, вызванных перепадом давления в системе «скважина – пласт», была выбрана минимально допустимая плотность бурового раствора (1220 кг/м³). Подобное значение плотности, помимо прочего, позволит предотвратить инфильтрацию бурового раствора в прони-

Заключение

цаемые пласты и пропластки.

В статье были рассмотрены мероприятия по предотвращению прихватообразования на Харасавэйском ГКМ, характеризующимся высокой активностью глинистых отложений.

Анализ способа бурения выявил ряд преимуществ применения РУС в сравнении с ГЗД с точки зрения борьбы с прихватообразованиями. Отдельно стоит выделить возможность повышения МСП при использовании интеллектуальных систем, что особенно важно при проходке активных глин. Кроме этого, снизить риски возникновения прихвата позволяет интенсивное вращение всей бурильной колонны при бурении с помощью РУС, что технически неосуществимо при бурении с ГЗД. Применение ГЗД не способствует предотвращению прихвата, однако в данной статье были подобраны режимные параметры бурения, способствующие минимизации прихвата.

Среди очистных агентов наиболее предпочтительным является применение РУО «Полиэмульсан», так как он является инертным по отношению к горным породам, имеет высокий смазывающий эффект, а также позволяет снизить активность глин.

Главной особенностью данного раствора является углеводородная основа, которая не вызывает ионно-обменной реакции, в отличие от других промывочных жидкостей, рассмотренных в статье.

Список литературы

- 1. Липатов Е.Ю. Исследование и разработка технологии и технических средств для предупреждения и ликвидации прихвата бурильной колонны (на примере месторождений Среднего Приобья). Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. 128 с.
- 2. Кузнецов В.Г., Липатов Е.Ю. Первоочередные действия при ликвидации прихвата бурильной колонны // Территория нефтегаз. 2010. № 12. С. 20–23.
- 3. Харасавэйское месторождение. [Электронный ресурс]. URL: https://www.gazprom.ru/projects/kharasaveyskoye/(дата обращения: 26.06.2022).
- 4. Нижегородов В.А. Преимущества и недостатки горизонтальных скважин в системе разработки месторождения // Научный журнал. 2019. № 11 (45). С. 8–10.
- 5. Аббасова С.В. Успешное применение и недостатки горизонтальных скважин // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). 2020. № 12 (81).
- 6. Двойников М.В. Анализ результатов исследований технико-технологических параметров бурения наклонных скважин // Записки Горного института. 2017. № 223. С. 86–92.
- 7. WellPlan® Software. [Электронный ресурс]. URL: https://www.landmark.solutions/WellPlan-Well-Engineering-Software (дата обращения: 26.06.2022).
- 8. Киреева Е.В. Проблемы при бурении скважин с большим отходом от вертикали, связанные с режимом промывки // Научный журнал. 2017. N 9 (22). С. 6–8.
- 9. Кузьмин В.Н. Предотвращение гидратации и обвала глин // Экспозиция Нефть Газ. 2020. № 1 (74). С. 20–23.
- 10. Финк Т.А. Буровой раствор для первичного вскрытия продуктивного пласта // Патент РФ № 2695201/13. Патентообладатель ООО «МИРРИКО». 2019. Бюл. № 21.
- 11. Мазыкин С.В., Ноздря В.И., Мнацаканов В.А., Заворотный В.Л., Царьков А.Ю., Скотнов С.Н., Зубарев М.А. Применение системы бурового раствора на углеводородной основе «ПОЛИЭМУЛЬСАН» на скважине № 2371 Уренгойского НГКМ // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2013. № 4. С. 15–18.
- 12. Комплексное решение проблем бурения скважин на Северо-Еситинском месторождении // Бурение и нефть. 2014. № 3. URL: https://burneft.ru/archive/issues/2014-03/5 (дата обращения: 26.06.2022).
- 13. Чудинова И.В., Николаев Н.И., Розенцвет А.В. Полимерглинистый буровой раствор // Патент РФ № 2675650/13. Патентообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». 2018. Бюл. № 36.

УДК 556:574.583

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗООПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ ВОДОЕМОВ БОЛЬШОГО СОЛОВЕЦКОГО ОСТРОВА НА ПРИМЕРЕ ОЗЕР ВАРВАРИНСКОЕ И ПИТЬЕВОЕ

Собко Е.И., Болотов М.И., Климов С.И., Быков В.М., Морева О.Ю.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, e-mail: elfisina@yandex.ru

В настоящее время актуальна проблема охраны водных ресурсов и их эффективного использования. Нарушение стабильности водных экосистем в первую очередь проявляется в перестройке водных зооценозов, изменении таксономического состава и соотношения различных групп гидробионтов в сообществах. Структурно-функциональные характеристики зоопланктона являются наиболее информативными показателями, отражающими трансформации, происходящие в водных экосистемах под влиянием антропогенных и природных факторов, и, следовательно, могут быть использованы для оценки состояния зооценозов. В работе представлены исследования зоопланктона озер Варваринское и Питьевое (Большой Соловецкий остров), дана характеристика современного состояния зооценозов водоемов. Планктонная фауна озер представлена обычными для водоемов бореальной зоны видами. В озере Варваринское было выявлено 19 видов зоопланктона, в озере Питьевое – 30 видов. К числу доминирующих видов в озерах Варваринское и Питьевое относились коловратки Keratella cochlearis, Keratella quadrata, Filinia longiseta, Lecana luna, Polyarthra dolichoptera, Polyarthra vulgaris, Conochilus unicornis. Исследования показали, что экосистемы озер за последние 50 лет подверглись значительной трансформации. Прежде всего, это отражается в перестройке доминантного комплекса организмов, появлении в сообществах видов индикаторов эвтрофных вод, снижении численности ракообразных и увеличении доли коловраток, снижении средней индивидуальной массы гидробионтов. Озера Варваринское и Питьевое по состоянию развития зоопланктона относятся к олиготрофному типу (средняя биомасса до 1 г/м³). По величине индекса сапробности озеро Варваринское относится к мезосапробному типу водных объектов, Питьевое - к олигосапробному типу.

Ключевые слова: зоопланктон, Соловецкие острова, водные экосистемы, видовой состав, количественные показатели

THE MODERN STATE OF ZOOPLANKTON COMMUNITIES OF RESERVOIRS OF THE BOLSHOY SOLOVETSKY ISLAND ON THE EXAMPLE OF VARVARINSKOYE AND PITEVOE LAKES

Sobko E.I., Bolotov M.I., Klimov S.I. Bykov V.M., Moreva O.Yu.

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, e-mail: elfisina@yandex.ru

Currently, the problem of protection of water resources and their effective use is of urgent importance. Violation of the stability of aquatic ecosystems, first of all, manifests itself in the restructuring of aquatic zoocenoses, changes in the taxonomic composition and the ratio of various groups of aquatic organisms in communities. The structural and functional characteristics of zooplankton are the most informative indicators reflecting the transformations taking place in aquatic ecosystems under the influence of anthropogenic and natural factors, and, therefore, can be used to assess the state of zoocenoses. The paper presents studies of zooplankton of Varvarinskoye and Pit'evoye lakes (Bolshoy Solovetsky Island), characterizes the current state of zoocenoses of lakes. The planktonic fauna of the lakes is represented by species common to boreal reservoirs. 19 zooplankton species were identified in Varvarinskoye lake, 30 species in Pit'evoye lake. The dominant species in Varvarinskoe and Pit'evoye lakes included rotifers Keratella cochlearis, Keratella quadrata, Filinia longiseta, Lecana luna, Polyarthra dolichoptera, Polyarthra vulgaris, Conochilus unicornis. Studies have shown that lake ecosystems have undergone a significant transformation over the past 50 years. First of all, this is reflected in the restructuring of the dominant complex of organisms, the appearance of eutrophic water indicators in communities of species, a decrease in the number of crustaceans and an increase in the proportion of rotifers, a decrease in the average individual weight of hydrobionts. The planktonic fauna of Varvarinskoye and Pit'evoye lakes belong to the oligotrophic type according to the state of development (average biomass up to 1 g/m3). According to the value of the saprobity index, Varvarinskoye lake belongs to the mesosaprobic type of water bodies, Pit'evoye to the oligosaprobic type.

Keywords: zooplankton, Solovetsky Islands, aquatic ecosystems, species composition, quantitative indicators

В настоящее время актуальна проблема охраны водных ресурсов и их эффективного использования. Нарушение стабильности водных экосистем в первую очередь проявляется в перестройке водных зооценозов, изменении таксономического состава и соотношения различных групп гидробионтов в сообществах. Структур-

но-функциональные характеристики зоопланктона являются наиболее информативными показателями, отражающими трансформации, происходящие в водных экосистемах под влиянием антропогенных и природных факторов, и, следовательно, могут быть использованы для оценки состояния зооценозов. Соловецкий архипелаг образован множеством островов. Наиболее крупными островами являются Большой Соловецкий (222 км²), Анзер (48 км²) и Большая Муксалма (19 км²). Общая площадь архипелага 295 км². Территория Соловков покрыта большим количеством озер. На Большом Соловецком острове их более 300. Большинство водоемов имеют ледниковое происхождение, за исключением реликтовых озер, которые в прошлом являлись частью морских лагун.

Первые исследования планктонной фауны водоемов Соловков относятся к началу XX в. Данные работы в основном поизучению таксономического священы состава зоопланктона. В этот период были составлены подробные фаунистические списки видов гидробионтов, встречающихся в водоемах архипелага. Повторные исследования зоопланктонных сообществ были выполнены в 1960-х гг. Карельским отделением ГосНИОРХ. В ходе комплексных исследований было изучено 65 озер Большого Соловецкого острова, получены данные по видовому составу и количественному развитию зоопланктонных сообществ [1]. В дальнейшем подобные работы на территории Соловков не проводились, за исключением комплексного исследования озер Петр, Питьевое и Святое, проведенного в 2020 г. [2].

Цель данной работы — на примере озер Варваринское и Питьевое охарактеризовать современное состояние зоопланктонных сообществ озерных экосистем Большого Соловецкого острова и сравнить результаты с данными, полученными 50 лет назад.

Материалы и методы исследования

Исследования зоопланктона проводились в августе 2021 г. на озерах Варваринское и Питьевое. Зоопланктон отбирали планктонной сетью Джеди. Образцы фиксировались 4%-ным раствором формалином. Обработка проб производилась в лаборатории стандартными гидробиологическими методами. При обработке проб изучали качественные и количественные характеристики зоопланктона: определяли видовой состав, выделяли доминантные группы, подсчитывали численность (N)и биомассу (B) организмов. Гидробионтов с относительной численностью > 5% считали структурообразующими видами. При вычислении биомассы зоопланктона использовались соответствующие руководства [3]. Видовое разнообразие оценивали по индексу Шеннона — Уивера. Индекс рассчитан по численности (HN). Для выявления фаунистического сходства зооценозов озер использовали индекс Жаккара $(I_{\rho}\%)$, (I). Индекс сапробности (S) рассчитан по методу Пантле и Букка в модификации Сладечека. Трофический тип водоёма определяли по величине биомассы зоопланктона [4].

Результаты исследования и их обсуждение

Озеро Варваринское расположено на территории большого Соловецкого острова (65°05′с.ш., 35°73′в.д.). Площадь водоема составляет 0,093 км² (9,3 га). Озеро находится на расстоянии 70 м от залива Долгая губа. Когда-то озеро Варваринское было частью морского залива.

Озеро Питьевое находится к западу $(65^{\circ}04'\text{с.ш.}, 35^{\circ}69'\text{в.д.})$ от озера Варваринское. Площадь озера Питьевое $-0,173~\text{км}^2$ (17,3~га). Из водоема осуществляется отбор воды на питьевые нужды населения острова.

По площади зеркала водной поверхности исследуемые объекты относятся к категории озерков ($< 0.1 \text{ км}^2 - \text{Варваринское}$) и очень малых озер ($0.1-1.0 \text{ км}^2 - \text{Питьевое}$). Тем не менее по показателю относительной глубины озера относятся к глубоким (4-10 м) (табл. 1).

В период исследования в водоемах наблюдалась температурная стратификация водной толщи. Температура в поверхностном горизонте составляла +15-+17°С, в придонном - +5-+7°С, рН среды в озерах близка к нейтральной. Поверхностные и придонные слои в озере Питьевом хорошо насыщены кислородом (31-94%). В озере Варваринское на глубине 3 м наблюдается анаэробная зона, кислород полностью отсутствует. От других водоемов озеро Варваринское отличается повышенной минерализацией.

Зоопланктонные сообщества озер представлены видами типичными для холодноводных олиготрофных водоёмов северных широт [5]. По зоогеографическому районированию зооценозы преимущественно состояли из видов, имеющих палеарктическое (39%), космополитное (32%) и голарктическое (29%) распространение. В зоопланктонном сообществе водоёмов превалировали олиго- и олиго-β-мезосапробы (83% от общего числа видов).

 Таблица 1

 Морфометрические и гидрохимические характеристики озер Варваринское и Питьевое

V	Озера			
Характеристики	Варваринское	Питьевое		
Длина озера, км	0,5	0,98		
Максимальная ширина, км	0,28	0,4		
Глубина (средняя), м	4,2	3,7		
Максимальная глубина, м	9,0	11,1		
Площадь зеркала, км ²	0,093	0,173		
Объем озера, км ³	0,0004	0,0006		
Прозрачность воды, м	0,4	2,5		
Температура, °С*	+15	+17		
Кислород, мг О ₂ /л*	7,4	8,9		
pH*	6,5	6,6		
Минерализация, мг/л*	193,4	58,6		

Примечание: * – поверхностный горизонт

В зоопланктоне исследованных водоемов отмечено 37 видов гидробионтов: 14 видов коловраток и 23 вида ракообразных. Сообщества зоопланктона озера Варваринское представлены 18 видами беспозвоночных: 10 видов коловраток, 3 вида ветвистоусых и 5 видов веслоногих ракообразных. В озере Питьевое отмечено 30 видов, из которых 10 видов составляли коловратки, 10 видов кладоцеры и 10 видов копеподы.

Ниже приведен список обнаруженных в озерах видов зоопланктонных организмов.

Тип Rotifera Коловратки

Asplanchnidae: 1) *Asplanchna priodonta* Gosse,1850 – B, Π; 2) *Asplanchna herriskie* Guerne, 1888 – B, Π.

Brachionidae: 3) Kellicottia longispina Kellicott, 1879 – B, Π ; 4) Keratella cochlearis Gosse,1851 – B, Π ; 5) Keratella quadrata Müller, 1786 – B; 6) Brachionus quadridentatus Hermann, 1783 – Π ; 7) Notholca sp. – Π .

Synchaetidae: 8) *Polyarthra vulgaris* Carlin, 1943 – B, Π ; 9) *Polyarthra dolichoptera* Idelson, 1925 – Π .

Conochilidae: 10) Conochilus unicornis Rousselet, 1892 - B, Π .

Filinidae: 11) *Filinia longiseta* Ehrenberg, 1834 – B.

Trichocercidae: 12) Trichocerca weberi Jennings, 1903 – B; 13) Trichocerca sp. – B, Π. **Lecanidae:** 14) Lecane luna Müller, 1776 – B.

Класс Crustacea Ракообразные Надотряд Cladocera Ветвистоусые **Daphniidae:** 15) Daphnia cucullata G.O. Sars, 1862 – B, Π; 16) Daphnia galeata G.O. Sars, 1864 – B; 17) Daphnia cristata Sars, 1862 – Π; 18) Daphnia obtusa Kurz, 1875 – Π; 19) Daphnia longiremis G.O. Sars, 1862 – Π; 20) Daphnia hyalina Leydig, 1860 – Π.

Chydoridae: 21) *Chydorus ovalis* Kurz, 1875 – B.

Bosminidae: 22) *Bosmina longirostris* O.F. Müller, $1785 - \Pi$.

Macrothricidae: 23) *Macrothrix hirsuti-cornis* Norman et Brady, $1867 - \Pi$.

Sididae: 24) *Diaphanosoma brachyurum* Liévin, 1848 – Π ; 25) *Sida crystallina* O.F. Müller, 1776 – Π .

Polyphemidae: 26) *Polyphemus pediculus* Linne, $1778 - \Pi$.

Надотряд Copepoda Веслоногие

Diaptomidae: 27) Eudiaptomus gracilis G.O. Sars, 1863 – B, Π ; 28) Eudiaptomus graciloides Lilljeborg, 1888 – Π .

Cyclopidae: 29) Cyclops scutifer G.O. Sars, 1863 – B; 30) Cyclops abyssorum G.O. Sars, 1863 – B; 31) Cyclops strenuus Fischer, 1851 – B, П; 32) Cyclops kolensis Lilljeborg, 1901 – П; 33) Mesocyclops leuckarti Claus, 1857 – B, П; 34) Macrocyclops albidus Jurine,1820 – П; 35) Acanthocyclops vernalis Fischer, 1853 – П; 36) Eucyclops macrurus Sars, 1863 – П; 37) Eucyclops serrulatus Fischer, 1851 – П; 38) Thermocyclops crassus Fischer, 1853 – П.

Принятые сокращения: B — озеро Варваринское, Π — озеро Питьевое.

 Таблица 2

 Основные структурные показатели развития зоопланктонных сообществ озер Варваринское и Питьевое в различные периоды исследований

Показатель	Озеро Вар	варинское	Озеро Питьевое		
Показатель	1965 г.	2021 г.	1965 г.	2021 г.	
Число видов	12	18	18	30	
N _{clad} :N _{rot} :N _{cop} ,%	1:0:99	1:94:5	52:14:34	5:77:18	
B _{clad} :B _{rot} :B _{cop} ,%	9:0:91	5:38:57	52:5:43	65:8:27	
Численность, тыс. экз./м ³	40,2	182,3	91,9	110,1	
Биомасса, г/м ³	0,86	0,2	1,5	0,8	
Wcp., мг	0,02	0,001	0,02	0,007	
B_{crus}/B_{rot}	_	2,92	_	13,18	
$N_{\rm clad}/N_{\rm cop}$	_	0,13	_	0,49	
Индекс Шеннона — Уивера, бит/экз.	_	2,09	_	2,63	
Индекс сапробности	_	1,61	_	1,41	
Виды доминанты по численности	Mesocyclops leuckarti, Eudiaptomus gracilis, Chy- dorus sphaeri- cus, Daphnia longispina	Keratella cochlearis, Keratella quadrata, Filinia longiseta, Lecane luna	Ceriodaphnia affinis, Daphnia cristata, Bosmina obtusirostris	Polyarthra dolichoptera, Polyarthra vulgaris, Cono- chilus unicornis, Keratella cochle- aris, Kellicottia longispina	
Тип водоема	_	мезотрофный	_	олиготровный	

Примечание. N, В – численность и биомасса зоопланктона в летний период; Rot – Rotifera, Clad – Cladocera, Cop – Copepoda; Wcp. – средняя масса организма

Видовое разнообразие в озере Варваринское определяли коловратки. К числу доминирующих видов коловраток (Rotifera) в водоеме относятся Keratella cochlearis, Keratella quadrata, Filinia longiseta, Lecane luna. Наименьшим количеством видов в зооценозе представлены ветвистоусые ракообразные (3 видами), что, по-видимому, связано с кислородным режимом в водоеме. Как известно, кладоцеры чутко реагируют на недостаток кислорода в воде [6, 7].

Зооценозы озера Питьевое более разнообразны и характеризуются большим количеством видов. Анализ фаунистического сходства показал незначительное подобие зоопланктона озер. Индекс сходства Жаккара составил 29% соответственно.

Индекс видового разнообразия Шеннона для озера Варваринское варьировал в пределах 1,90—2,39 бит/экз (средние значения 2,09), для озера Питьевое от 1,34 бит/экз до 3,06 бит/экз (средние значения 2,63). Значения индекса позволяют отнести озеро Варваринское к мезотрофному типу, озеро Питьевое — к олиготрофному типу водо-

емов. Индекс выравненности (I) для озера Варваринское в среднем равен 0.6, для озера Питьевое -0.7, что свидетельствует об устойчивом состоянии экосистем.

Количественные характеристики зоопланктона в водоемах варьировали в широких пределах. Максимальная численность планктона в озере Варваринское составляла 288,0 тыс. экз./м³, минимальная — 26,9 тыс. экз./м³. Средние значения численности и биомассы зоопланктона в озере составляли 182,3 тыс. экз./м³ и 0,19 г/м³ соответственно. Значения биомассы варьировали в пределах от 0,03 г/м³ до 0,47 г/м³. По численности в зоопланктонных сообществах озера Варваринское доминировали коловратки (94% от общей численности), по биомассе — копеподы (57% от общей биомассы).

Анализ вертикального распределения гидробионтов в озере Варваринское в период летней стратификации показал приуроченность зоопланктона к верхнему слою воды (0–3 м). В поверхностных слоях интенсивно развивались представители всех

групп зоопланктона. На всех горизонтах коловратки составляли от 90 до 96 % от общей численности. С глубиной роль ракообразных снижалась. В слое 3–8 м наблюдается полное отсутствие кладоцер, что связано с кислородным режимом в водоеме: с глубины 3 м начинается анаэробная зона.

Средняя численность и биомасса зоопланктона в озере Питьевое составляли 110,1 тыс. экз./м³ и 0,80 г/м³ соответственно. Максимальная численность зоопланктона составляла 202,8 тыс. экз./м³, минимальная — 56,8 тыс. экз./м³. Значения биомассы варьировали в пределах от 0,21 г/м³ до 2,04 г/м³. По уровню развития планктонной фауны озера Варваринское и Питьевое можно отнести к олиготрофному малокормному типу водоемов (средняя биомасса до 1 г/м³) [5].

Сравнение полученных нами результатов с данными исследований 1960-х гг. [1] показало, что за последние полвека в структуре зоопланктонных сообществ озер Варваринское и Питьевое произошли изменения (табл. 2).

Прежде всего, в зооценозах отмечена смена доминантных видов. За последние годы значительно снизилась доля в сообществах ветвистоусых ракообразных. В зооценозах озер доминирующая роль принадлежит коловраткам. В составе зоопланктона водоемов обнаружены индикаторы эвтрофных вод Keratella cochlearis, Keratella quadrata, Filinia longiseta, Brachionus quadridentatus, Polyarthra vulgaris, Cyclops strenuous, что указывает на усиление процессов эвтрофирования.

В озере Варваринское наблюдается увеличение общей численности зоопланктона и уменьшение общей биомассы за счет массового развития Rotifera. Для озера Питьевое также отмечено снижение суммарной биомассы. В настоящее время наблюдается уменьшение средней индивидуальной массы гидробионтов, что свидетельствует о преобладании в сообществах озер коловраток и меньшей кормовой ценности зоопланктона.

Озеро Варваринское по характеристикам зоопланктонного сообщества можно отнести к категории мезотрофных водоемов с умеренно загрязненным качеством воды, озеро Питьевое – к категории олиготрофных. Качество водных масс озер на протяжении периода исследований соответствовало чистым (II класс – озеро Питьевое) и умеренно загрязненным водам (III класс – озеро Варваринское).

Заключение

Соловецкие озера находятся на разных стадиях развития, что обуславливается особенностями рельефа и площадью водосбора. Развитие планктонной фауны в озерах острова определяется гидрологическим и гидрохимическим режимами водоемов.

Озеро Питьевое входит в состав западной канальной системы. Для озер канальной группы характерна значительная однородность минерального и органического состава, что связано с их проточностью. Озеро Питьевое имеет самый большой водосбор. Через него проходят воды, поступающие из других озер системы. Водная толща озера Питьевое хорошо насыщена кислородом, кислород фиксируется до самого дна, что положительно сказывается на развитии зоопланктона. В последнее время в экосистеме озера наблюдается увеличение доли коловраток и снижение численности ракообразных.

Озеро Варваринское имеет малый сток и водосбор. Озеро обособлено от других водоемов. В прошлом Варваринское являлось частью лагуны, отделившись от нее в результате поднятия рельефа. Для водоема характерны застойные явления, накопление органики и биогенов у дна. Кислородный режим в водоеме неблагоприятен для развития гидробионтов: с 3 м начинается анаэробная зона, где численность зоопланктона снижается в 10 раз. Изменения в функционировании зооценозов в озере Варваринское могут быть связаны с особенностью гидрологического и гидрохимического режима водоема, а также с его происхождением.

За последние 50 лет в экосистемах исследованных водоемов произошли значительные трансформации, особенно четко изменения в структуре и функционировании зоопланктонных сообществ прослеживаются в озере Варваринское. Прежде всего, это отражается в перестройке доминантного комплекса, появлении в сообществах видов индикаторов эвтрофных вод, снижении численности ракообразных и увеличении доли коловраток и, как следствие, снижении средней индивидуальной массы гидробионтов.

В связи с тем, что водоемы региона имеют хозяйственное значение как основные источники пресной воды для населения, а также с возрастающей рекреационной и антропогенной нагрузкой на водные объекты необходимо продолжить комплексные исследования озер Соловецкого архипелага.

Работа подготовлена при финансовой поддержке темы ФНИР: FUUW-2022-0065 (№ гос. регистрации122011800149-3) и гранта РНФ: № 22-14-20045.

Список литературы

- 1. Новосельцева Р.И., Русакова С.А. Зоопланктон озер Большого Соловецкого острова // Соловецкие острова. Материалы по комплексному изучению озер. Труды СевНИ-ОРХ. Т. 6. Петрозаводск: Изд-во Карелия, 1972. С. 45–66.
- 2. Титова К.В., Жибарева Т.А., Морева О.Ю., Собко Е.И., Слобода А.А., Попов С.С., Прилуцкая Н.С. Гидрохимические и гидробиологические исследования озер Большого Соловецкого острова // Успехи современного естествознания. 2020. № 11. С. 125–131.
- 3. Коновова О.Н., Фефилова Е.Б. Методическое руководство по определению размерно-весовых характеристик организмов зоопланктона Европейского Севера России. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2018. 151 с.
- 4. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. 395 с.
- 5. Куликова Т.П. Зоопланктон водных объектов Республики Карелия (Россия): история изучения, основные направления исследований, видовой состав, библиография. Германия: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2017. 132 с.
- 6. Терехова В.А. Практическая экотоксикология: оценка чувствительности биотесткультур: учебное пособие. М.: ГЕОС, 2016. 54 с.
- 7. Алексевнина М.С., Поздеев И.В. Санитарная гидробиология с основами водной токсикологии. Пермь: ПГНИУ, 2016 205 с.

СТАТЬИ

УДК 528.31

ОСОБЕННОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМИРОВАНИЯ ИЗ WGS84 В КЛАРК 1880 В ГОРНЫХ И ПУСТЫННЫХ РАЙОНАХ В СИРИЙСКОЙ СТЕРЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ

Абаас Гафаар

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии», Москва, e-mail: gafaarabass@gmail.com

Статья посвящена анализу современного состояния сирийской стереографической системы координат и вычислению параметров трансформации с помощью программного обеспечения Leica Geo Office в горных и пустынных районах в Сирии и возможности создания пространственной спутниковой геодезической сети, учитывая, что метод мониторинга предназначен для определения одной точки, а также для компенсации высоты локального эллипса (Кларк 1880) в уравнениях, равных высоте, измеренной GPS (WGS84). Существующая на территории Сирии геодезическая сеть не отвечает современным требованиям, потому что сеть давно не обновлялась современными методами, мы утратили большое количество пунктов из-за войны, сеть не развивалась либо развивалась на ограниченных территориях. Кроме того, высокоточное нивелирование, а также гравиметрические сети на территории страны отсутствуют, поэтому возникает проблема поиска параметров, которые не противоречат существующим документам в стереографической проекции, чтобы после войны можно было реконструировать страну. По результатам теоретического анализа были определены стереографическая проекция, параметры преобразования с использованием программы Leica GEO_Office. Определены особенности вычисления параметров с оценкой точности и надежности вычислительного процесса. Параметры преобразования различаются в горных и пустынных районах, поэтому они должны быть рассчитаны для каждого региона отдельно, чтобы получить более точные результаты. Установлено, что различия между рассчитанными локальными координатами и данными не превышают 0,51 м и эти результаты находятся в допустимых пределах, и мы можем использовать программу (Leica_GEO_Office) для преобразования измеренных координат в локальные координаты в Сирии.

Ключевые слова: стереографическая проекция, геодезическая система координат, пункты геодезической сети, эллипсоид, параметры трансформирования, масштабный коэффициент, смещения центра

FEATURES OF CALCULATION OF TRANSFORMATION PARAMETERS FROM WGS84 TO CLARK 1880 IN MOUNTAINOUS AND DESERT AREAS IN THE SYRIAN STEREOGRAPHIC PROJECTION

Abaas Gafaar

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, e-mail: gafaarabass@gmail.com

The geodetic network existing on the territory of Syria does not meet modern requirements, because the network has not been updated for a long time by modern methods, we have lost a large number of points due to the war, the network has not developed, or developed in limited territories. In addition, there is no high-precision leveling, as well as gravimetric networks in the country, therefore, there is a problem of finding parameters that do not contradict existing documents in a stereographic projection. so that after the war we can do the reconstruction of the country. This article is devoted to the analysis of the current state of the Syrian stereographic coordinate system and the calculation of transformation parameters using Leica Geo Office software in mountainous and desert areas in Syria. Considering that the monitoring method is designed to determine a single point, as well as to compensate for the height of the local ellipse (Clark 1880) in equations equal to the height measured by GPS (WGS84). Based on the results of theoretical analysis, stereographic projections were determined, transformation parameters using the (Leica_GEO_Office) program, Determination of the features of calculating parameters with an assessment of the accuracy and reliability of the computational process. The conversion parameters differ between mountains and desert regions, so they must be calculated for each region separately in order to obtain more accurate results. It is established that the differences between the calculated local coordinates and the data do not exceed 0.51 meters and these results are within acceptable limits and we can use the program (Leica_GEO_Office) to convert the measured coordinates to local coordinates in Syria.

Keywords: stereographic projection, Geographic coordinate system, points of the geodetic network, ellipsoid, transformation parameters, Scale factor, Rotation center offsets

Конформная стереографическая проекция, принятая в Сирии для представления геодезических координат объектов, была разработана для эпохи бумажных карт в соответствии с географическими характеристиками Сирии во времена французского мандата (1920) и включает только экономическую и культурную часть страны. В насто-

ящее время эта ситуация изменилась, с тех пор как были запущены проекты по рекультивации земель и разведке нефти в Аль-Газире, а также были применены современные методы съемки и представления данных с применением глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и географических информационных системы (ГИС) [1, 2].

Геодезические сети считаются важной основой для всех точных геодезических работ. Используя технологию ГНСС, в статье обсудим некоторые проблемы и рекомендации, касающиеся создания и консолидации сирийских геодезических сетей. Одна геодезическая сеть была протестирована в пределах стереографических координат. Геодезическая сеть, построенная с использованием системы глобального позиционирования (GPS), в системе координат WGS84, преобразуется в местную систему координат, основанную на сирийской стереографической проекции. Используя опорные точки региональной геодезической сети, определяются параметры трансформирования между координатами пунктов в системе WGS84 и сирийской стереографической проекцией с отсчетным эллипсоидом Clarke 1880 [1, 3, 4].

Цель исследования — поиск и анализ информации для определения состояния сирийской стереографической системы координат; определение параметров преобразования из геоцентрических систем координат в стереографическую систему координат в горных и пустынных районах Сирии.

Материалы и методы исследования

Для определения состояния сирийской стереографической системы координат выполнен поиск и анализ материалов в технической литературе, в открытых источниках сети Интернет. Для определения параметров трансформирования применены методы уравнивания, основанные на методах наименьших квадратов, методы моделирования процесса поиска ошибок, оценки точности и надежности полученных результатов.

Анализ современного состояния сирийской стереографической системы координат

Поверхность сирийской стереографической проекции, основанной на эллипсоиде Кларка 1880 года, касается области в точке недалеко от г. Пальмира с геодезическими координатами, являющимися началом координат для топографических карт [1, 5]:

$$\varphi^0 = 38,5 Grade = 34^0 12'000"N;$$

 $\lambda^0 = 43.5 Grade = 39^0 09'00"E.$

где (φ^0, λ^0) — начало координат, при X = Y = 0. Остальные параметры для фактической сирийской стереографической сетки имеют следующие значения:

$$a = 6378249.20m$$
;

$$b = 6356514.87m;$$

$$e^{2} = 0.00680348764;$$

$$f = 1 / 293.465;$$

$$k_{0} = 0.9995317,$$
(1)

где a — большая полуось; b — малая полуось; e^2 — первый эксцентриситет; f — геометрическое (полярное) сжатие; k_0 — масштабный коэффициент в начале координат.

Масштабный коэффициент в Сирийской стереографической проекции составляет 0,9995314 в точке касания и 1,0 вдоль окружности радиусом 275 км с центром в начале проекции. Эта ситуация создает две зоны искажения различных знаков: центральную зону с масштабным коэффициентом < 1 или отрицательной коррекцией (проецируемое расстояние меньше реального расстояния) и пограничную зону с масштабным коэффициентом > 1 или положительной коррекцией (проецируемое расстояние больше реального расстояния). Эти различия в основном являются результатом неодинакового пространственного соотношения между поверхностью земли и нанесенной проекционной поверхностью [6].

Сирийская стереографическая проекция работает с предположением, что Сирия имеет форму почти круга, несмотря на относительную протяженность на юго-западе и северо-востоке, и что самая дальняя точка от начала проекции, по оценкам, находится примерно в 400 км, хотя есть некоторые точки с расстоянием 450 км. Эта разница влияет на значения искажений. Эта проекция обладает преимуществом медленного изменения искажений в зависимости от расстояния от начала отображения. Эта характеристика позволяет представить сирийскую территорию в единой системе [1, 6]. Начало координат системы координат находится в центре Сирийской стереографической проекции. Этот метод приводит к положительным и отрицательным значениям координат, которые, конечно, не объявляются при вычислениях, а не при чтении карты.

Вычисление параметров трансформации с помощью программного обеспечения Leica_GEO_Office

Для того чтобы вычислить эти параметры, необходимо иметь два набора координат. Первым набором будут координаты точки в системе WGS84. Вторым набором будут координаты в местной системе. Координаты по крайней мере трех точек должны быть известны в локальной системе

и в WGS84. Можно вычислить параметры преобразования, используя только три общие точки, но использование четырех приводит к большей избыточности и позволяет вычислять остатки. Классическая 3D-трансформация позволяет выбрать две различные модели трансформации: Бурса — Вольфа или Молоденского — Бадекаса:

Методы, использующие семь параметров Бурса – Вольфа [7, 8]:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix}_{R} = (1 + \delta\lambda) \times R_{s} \times \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{A} + \begin{bmatrix} t_{x}' \\ t_{y}' \\ t_{z}' \end{bmatrix}, \quad R_{S} = \begin{bmatrix} 1 & RZ'' & -RY'' \\ -RZ'' & 1 & RX'' \\ RY'' & -RX'' & 1 \end{bmatrix}$$
(2)

где X, Y, Z – прямоугольные геоцентрические координаты соответственно в системе A и B; RX, RY, RZ – матрицы вращения вокруг осей координат; t_x , t_y , t_z – смещения центра одной системы координат относительно другой; $\delta\lambda$ – отличие масштаба систем координат.

– Преобразование координат Молоденского – Бадекаса [7, 8]:

$$\begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & RZ'' & -RY'' \\ -RZ'' & 1 & RX'' \\ RY'' & -RX'' & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_A - X_A^0 \\ Y_A - Y_A^0 \\ Z_A - Z_A^0 \end{bmatrix} + \delta\lambda \begin{bmatrix} X_A - X_A^0 \\ Y_A - Y_A^0 \\ Z_A - Z_A^0 \end{bmatrix},$$

где дополнительно к (6) X_A^0, Y_A^0, Z_A^0 — начало отсчёта для разворота и масштабного преобразования, а ΔS — масштабный фактор; остальные основные обозначения соответствуют формуле (2).

Используя параметры преобразования, мы можем преобразовать геодезические координаты точек, измеренных в GPS, в локальные координаты.

Вычисление параметров преобразования (Leica GEO Office)

У нас есть семь точек (первый случай) в горных районах недалеко от сирийского по-

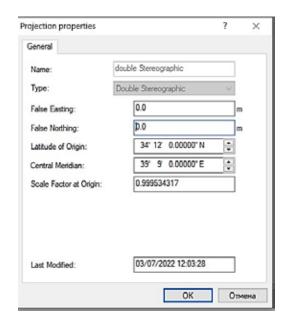
бережья и четыре точки (второй случай) в пустынной местности недалеко от г. Пальмира. Их координаты известны в местных стереографических координатах и с помощью GPS, как показано в табл. 1. Принимая во внимание высоту точек над локальным эллипсоидом, Кларк 1880 равна высотам, указанным над эллипсоидом WGS 84. Из-за отсутствия знаний о изгибе головки в изучаемой области.

 Таблица 1

 Геодезические и стереографические координаты точек

WGS84				Стереографические координаты				
№	$arphi^0$	λ^0	Н	X (m)	Y (m)			
	Первый случай							
1	35,02392111	35,94033612	236,107	-292919,03	96034,38			
2	34,99115203	35,88839667	40,623	-297774,21	92553,48			
3	34,87166411	35,90678056	95,524	-296520,68	79245,41			
4	34,92501211	35,94771121	245,753	-292592,53	85049,93			
5	35,06253803	35,91883594	246,922	-294747,65	100378,57			
6	34,95354747	35,97202051	349,228	-290276,67	88138,46			
7	35,02951878	35,91818206	97,426	-294923,96	96718,59			
		Е	Второй случай					
1	36,02281629	36,69956882	367,912	-220958,76	204889,91			
2	36,03360643	36,69263257	368,146	-221554,52	206102,17			
3	36,20246982	36,72776197	430,459	-217933,5	224758,23			
4	35,92137723	36,67392676	413,98	-223547,79	193692,78			

Параметры стереографической системы координат (начальные координаты для топографических карт и геометрическое сжатие) вводятся, как показано на рисунке.



Параметры стереографической системы координат

Параметры перехода от WGS84 к Кларк 1880 следующие с использованием метода Бурса — Вольфа (семь параметров) с использованием четырех точек в первом случае и трех точек во втором случае/

Используя параметры преобразования, мы вычисляем стереографические координаты и местные геодезические координаты (Кларк 1880) остальных точек.

Результаты исследования и их обсуждение

Сравнивая вычисленные локальные стереографические координаты, вычисленные с помощью программы (Leica_GEO_Office) с исходными, мы обнаруживаем следующие различия (табл. 4).

Из результатов предыдущего сравнения мы находим, что:

- Различия между рассчитанными локальными координатами и данными не превышают 0,51 м в первом и втором случаях с учетом того, что используемое устройство GPS (Ashtic) и метод мониторинга предназначены для определения одной точки, а также компенсации высоты локального эллипса (Кларк 1880) в уравнениях, равных высоте, измеренной GPS (WGS84), мы находим, что результаты находятся в допустимых пределах, и поэтому программа (Leica_GEO_Office) может использоваться для преобразования измеренных координат в локальные координаты.
- Параметры преобразования различаются в первом и втором случаях, и поэтому мы считаем, что они должны быть рассчитаны для каждого региона отдельно, чтобы получить более точные результаты.

Таблица 2

Параметры преобразования

No	TX(m)	TY(m)	TZ(m)	RX"	RY"	RZ"	S (PPM)
Первый случай	103,0357	68,2145	-313,8877	-11,7857	-7,95168	-5,67479	11,9684
Второй случай	284,7514	-224,4352	-275.9176	-5,77625	-5,40427	-14,79985	12,1893

 Таблица 3

 Стереографические координаты и местные геодезические координаты

No	X (m)	Y (m)	$arphi^0$	λ^0			
	Первый случай						
5	-294747,1516	100378,9794	35,06266894	35,91760063			
6	-290277,1882	88138,7174	34,95368195	35,97079921			
7	-294923,5616	96718,7892	35,02964586	35,9169543			
	Второй случай						
4	-223548,1432	193693,1317	35,92160675	36,67258806			

Таблица 4

Локальные различия в координатах

No	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)		
	Первый случай							
5	-292924,4	96035,501	-292924,798	96035,105	0,4984	0,4094		
6	-292599,1	85044,932	-292599,428	85044,523	-0,5182	0,2574		
7	-294925,5	96719,756	-294925,825	96719,349	0,3984	0,1992		
	Второй случай							
4	-223548,1	193693,13	-223547,79	193692,78	0,3532	-0,3517		

Заключение

По результатам теоретического и практического анализа была определена стереографическая проекция, параметры преобразования с использованием программы (Leica_GEO_Office), определены особенности вычисления параметров с оценкой точности и надежности вычислительного процесса.

Программа (Leica_GEO_Office) выводит координаты новых точек, измеренных GPS, в виде местных геодезических координат на эллипсе Кларка 1880, и это позволяет преобразовать их в локальные координаты с использованием проекции Ламберта на эллипсе Кларка 1880, используемой в Сирии.

Традиционные геодезические данные в Сирии, как и во многих других местах по всему миру, отличаются от тех, которые используются GPS. Несмотря на то, что модель преобразования между этими данными доступна, полезно модернизировать геодезические данные, связанные с подходящей картографической проекцией, для поддержания качества и точности GPS-наблюдений.

Список литературы

- 1. Мусбах Асаад Али. Современное состояние геодезической сети на территории сирийской Арабской Республики // Геодезия и аэрофотосъемка. 2011. № 3. С. 13–15.
- 2. Наим Альмунайзел. О создании геодезических сетей Республики Сирия // Геодезия и аэрофотосъемка. 2012. № 3. C. 23–25.1
- 3. Хабиб М., Кутаишат К., Шатнави Н. Развитие инфраструктуры кадастровых пространственных данных в Сирии // Международный журнал планирования, городского и устойчивого развития. 2017. № 4.2. С. 13–22.
- 4. Шануров Г.А. Спутниковая геодезия. М.: МИИГАиК, 2015. 80 с.
- 5. Кутени Джад Аль Карим Хамад. Разработка методики геодезического обеспечения исследования деформации при нефтедобыче на территории Сирийской Арабской Республики: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2020. 136 с.
- 6. Наим Альмунайзел. Построение и математическая обработка измерений в кадастровых сетях (на примере Сирийской Арабской Республики): дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2013 197 с.
- 7. Раффхед А. Исследование точности и практичности методов преобразования координат между геодезическими данными: дис. ... канд. техн. наук. Университет Восточного Лондона, 2021. 379 с.
- 8. Якимчик А.И. О преобразовании координат пунктов из системы СК-42 в систему WGS-84 // Геофизический журнал. 2019. № 41. 5. С. 165–189. DOI: 10.24028/gzh.0203-3100. v41i5.2019.183641.

УДК 528.02:528.7:528.2/.3:528.2/.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОИСКА НАИЛУЧШИХ РЕШЕНИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ МЕСТНОСТИ ПО ДАННЫМ С БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Акель Мохаммад Амин, Акл Магер Нассер, Алтынов А.Е.

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии», Москва, e-mail: akelmohammad999@gmail.com, Maher.n.akl@gmail.com, alt010149@yandex.com

Создание цифровых моделей местности (ЦММ) и рельефа (ЦМР) является весьма востребованной технологией получения документов о местности во многих гражданских и военных областях. Стремительное развитие технологий воздушных съёмок с применением беспилотных воздушных судов (БАС) лёгкого и сверхлёгкого типа сделало доступным и эффективным их применение в крупномасштабной и сверхкрупномасштабной съёмке местности. Значительный диапазон выбора средств съёмки средой обеспечения программ и методов обработки данных БАС обуславливает многовариантность использования БАС в аэрофотосъёмке, которая сильно связана с характеристиками использования оборудования, например: инерциальная навигационная система, глобальная навигационная система приёмника, цифровая камера, лазерный сканер, воздушный носитель и т.д. Впоследствии всё это делает затруднительным выбор оптимального варианта её применения для решения конкретной задачи. В этой статье предлагается подход к решению выбора вариантов съёмки для повышения точности и надёжности создания ЦММ подбором наилучших геодезических требований и навигационных съёмочных параметров к их определению в зависимости от обстоятельств задачи, основанной на использовании технологий с борта БАС, с помощью компьютерного имитационного моделирования в среде «Blender 3.0» для всех этапов создания ЦММ (ЦМР), включая все составляющие полевых, съёмочных и камеральных работ.

Ключевые слова: аэрофотосъёмка (АФС), беспилотная авиационная система (БАС), аэрофотограмметрия, цифровая модель местности (ЦММ) рельефа (ЦМР), опорные точки (ОП), контрольные точки (КТ), воздушное лазерное сканирование (ВЛС)

METHODOLOGY AND RECOMMENDATIONS FOR IMPROVING THE ACCURACY OF DIGITAL TERRAIN MODELS USING LOW-COST UAV PHOTOGRAMMETRY

Akel Mohammad Amin, Akl Maher Nasser, Altynov A.E.

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, e-mail: akelmohammad999@gmail.com, Maher.n.akl@gmail.com, alt010149@yandex.com

The creation of digital terrain models (DTMs) and elevation models (DEMs) is a highly demanded technology for obtaining terrain documents in many civil and military fields. The rapid development of aerial survey technologies using light and ultra-light unmanned aerial systems (UAS) has made their use in large-scale and ultra-large-scale terrain surveys affordable and effective. A significant range of choice of means of surveying by the environment for providing programs and methods for processing UAS data determines the multivariance of using UAS in aerial photography, which is strongly related to the characteristics of the use of equipment, for example: inertial navigation system, global navigation system of the receiver, digital camera, laser scanner, air carrier, etc. Subsequently, all this makes it difficult to choose the optimal variant of its application for solving a specific problem. This article proposes an approach to solving the choice of survey options to improve the accuracy and reliability of creating a DTM by selecting the best geodetic requirements and navigation survey parameters for their determination, depending on the circumstances of the task, based on the use of technologies from the UAS, using computer simulation in the environment "Blender 3.0" for all stages of creating a DTM (DEM), including all components of field, filming and office work.

Keywords: aerial photography (AFS), unmanned aerial vehicles (UAVs), aerial photogrammetry, digital terrain maps DTM, digital elevation maps DEM, ground control points (GCP), check points (CP), airborne laser scanning (ALS)

Число задач, где требуются достаточно точные ЦММ (ЦМР), постоянно расширяется, выходя далеко за рамки традиционной геодезии и картографии. Для небольших по площади территорий они решаются как традиционными полевыми съёмками, так и методами наземного лазерного сканирования. Когда площади территорий съёмки превышают некоторый предел (примерно один квадратный километр), наиболее про-

изводительными становятся методы аэрофототопографии, которые дополняются сегодня технологиями воздушного лазерного сканирования (ВЛС). С широким внедрением методов съёмок с борта беспилотных авиационных систем (БАС) и совершенствованием программного обеспечения фотограмметрической обработки результатов съёмки, аэрофототопографические методы практически вытесняют традиционные, по-

зволяя получить в конечном итоге модели рельефа с высокой точностью при очень высокой рентабельности.

Многие исследования [1–3] показывают, что аэрофототопографический метод на основе использования данных с БАС является оптимальным по совокупности многих параметров - доступности и простоты реализации, пространственного разрешения, комплексности автоматизации и суммарных затрат. С ним может конкурировать только метод воздушного лазерного сканирования. Но плотность точек в моделях, полученных по данным ВЛС, всегда будет уступать моделям, полученным по данным аэрофототопографической съёмки при тех же расстояниях. Кроме того, в методах на основе использования ВЛС всегда будет необходимость в «заполнении текстурами и цветом» пространства между точками лазерных отражений. Эти обстоятельства привели к тому, что эти два метода при возможности объединяются, но существенно усложняют технологию создания ЦММ, значительно увеличивая затраты на её воспроизведение.

Отдавая предпочтение аэрофототопографическому методу вследствие его высокой рентабельности — минимальных затрат, отнесенных к единице площади территории, следует сказать, что для получения максимальных показателей точности ЦММ в этом методе требуется тщательный расчет и обоснование аэросъёмочных параметров и их строгое выдерживание в процессе съёмки.

Цель исследования – представить метод и рекомендации, основанные на экспериментах, имитирующих процессы аэрофотосъёмки, которые позволят оптимизировать (улучшить) процесс создания ЦМР аэрофототопографическим методом с использованием БВС «бюджетного уровня». Все результаты получены на основе проведенных в программе компьютерного имитационного моделирования процессов аэрофотосъемки с использованием различных вариаций параметров.

Материалы и методы исследования

Среда моделирования. Для детального анализа всех факторов и аэросъёмочных параметров, влияющих на качество конечного продукта, авторами поставлен многоплановый эксперимент съёмок с борта БАС, реализация которого осуществлялась в режиме имитационного моделирования всех стадий

получения ЦММ в среде программного комплекса «Blender 3.0». Среди многочисленного семейства программных средств для трехмерного моделированиям реальности, таких как Autodesk 3dsMax, ZBrash, DAZStudio, MeshLab и ряда других, среда 3D моделирования Blender выделяется универсальностью применения и уникальными возможностями подключения программных средств для выполнения «внутренних» процедур выполнения необходимых процессов в цепочке моделируемой технологии и доступностью для широкого круга поль-Являясь профессиональным, зователей. свободным (не проприетарным) и открытым программным обеспечением для создания трёхмерных компьютерных моделей, ПО Blender в настоящее время пользуется большой популярностью среди бесплатных 3D-редакторов в связи с его быстрым стабильным развитием и хорошей технической поддержкой.

Для авторов важно, что среда моделирования Blender позволяет спроектировать корректную схему залетов, учесть влияние погрешностей в фиксируемых координатах центров проекций снимков и в известные элементы внутреннего ориентирования камеры, включая дисторсию, на точность создаваемой по снимкам ЦММ, и подбирать оптимальные установки съёмки, и выявлять конфигурацию расположения необходимого количества опорных точек в зависимости от сложности ситуации, что позволит получить ЦММ (ЦМР) высокой точности и качества [4].

Объект съёмки. Реализация имитационного моделирования топографической АФС местности предполагает выбор территории с необходимыми объектами, а также наличием геометрических характеристик и метрической точностью её описания. Последнее является ключевым, поскольку модель территории нами по замыслу эксперимента считается эталоном, с которым мы будем сравнивать производные модели «этой местности», получаемые в процессе моделирования её по результатам различных вариантов аэрофототопографической съёмки [4]. На рис. 1 представлен фрагмент изображения трехмерной модели территории центра Москвы размером 1,2 х 1,0 км, принятой нами за «эталонную», которая характеризуется следующими параметрами: модель поверхностная на прямоугольной сетке с дискретностью 0,3 м, максимальный перепад высот – 65 м.





Рис. 1. Слева 3D-модель центра г. Москвы в ПО Blender; справа космический снимок этой территории

Программное обеспечение для фотограмметрической обработки снимков. Еще одним из чрезвычайно важных исходных условий моделирования является выбор одного или нескольких вариантов программ фотограмметрической обработки, которые подключаются в схему моделирования, аэрофототопографического метода создания ЦММ. Из полутора десятков программных продуктов, широко применяемых и востребованных для этих целей в России и за рубежом: MetaShape, PhotoMod, Pix4Dmodel, ReCap 360, 3DF Zephyr Pro, ContextCapture, COLMAP, Reality Capture и пр. – для исследования были выбраны три пакета в последних версиях. Авторами кратко проанализирован и охарактеризован функционал выбранных на проработку программ фотограмметрической обработки данных модельных съёмок.

Первой и по существу основной авторы выделяют российскую программу MetaShape компании Agisoft, в которой реализована современная технология построения трехмерных моделей объектов на основе фотограмметрической обработки стереопар цифровых фотоснимков. Для реконструкции 3D-модели объекта ПО Agisoft MetaShape могут использоваться цифровые фотоснимки с перекрытием, полученные любыми цифровыми фотокамерами с любых ракурсов. Процесс создания трехмерной модели полностью автоматизирован [5]. Масштабирование модели производится на основании предварительных определений координат опорных точек в пределах реконструируемого объекта съемки. В последнее время это очень распространённое приложение, используемое как в России, так и за её пределами, в профессиональной сфере – аэрофототопографическая съёмка, 3D-моделирование, ЦММ, ЦМР и пр.

Из зарубежных программ от компании Bentley (США) использовали пакет Contex Capture, который представляет новую технологию, не требует обязательного привлечения высококвалифицированных специалистов по аэрофототопографии, а делает процесс получения и обработки данных доступным всем заинтересованным лицам. Это инновационное решение значительно упрощает получение пространственных данных об изучаемых объектах, поскольку для этого пригодны обычные фотоснимки, полученные любой цифровой камерой, будь то камера, установленная на беспилотном летательном аппарате, или цифровой фотоаппарат общего назначения. Точность модели в реальности ограничивается только линейным разрешением исходных фотографий.

Важно, что ПП Contex Capture допускает достижение точности, близкой к точности лазерного сканирования. Получение данных посредством лазерного сканирования может быть затруднено в некоторых случаях, а иногда невозможно — например, при создании модели большого региона. Данные, обработанные в Contex Capture, можно размещать в облачных продуктах. Размер модели, формируемой в Contex Capture, в десятки раз меньше, чем размер модели, полученной с помощью лазерного сканирования.

Также следует выделить программный продукт Pix4D швейцарского института EPFL, который используется для обработки аэрофотоснимков и получения точных 3D-моделей, ЦММ, ЦМР и ортофотопланов. Данное приложение обрабатывает большие объёмы данных и выполняет это быстрее, чем такие программы, как Agisoft или Context Capture.

Таблица 1

Характеристики Phantom 4

Квадрокоптер с Мобильной станцией DJI Phantom 4 RTK + D-RTK 2 Mobile Station Combo				
Взлетный вес	1391 г			
Макс. высота полета	6000 м			
Макс. время полета	до 30 мин			
Объектив съёмочной камеры	угол обзора 84°: 8,8 мм / 24 мм (35-мм эквивалент), f/2.8-f11			
Выдержка	Электронный: 8-1/8000 с, Механический: 8-1/2000 с			
Размер изображения	5472×3648			
Стабилизация	3-осевая (наклон, поворот, сгибание)			
Контролируемый диапазон	Наклон: от -90° до +30°			
Макс. контролируемая угловая скорость	Наклон: 90 °/с			
Угловая точность управления ± 0,02°				

И, наконец, ещё один из привлеченных авторами в исследования ПП – Reality Capture – с которым можно обрабатывать данные гораздо быстрее других и задействовать огромные количества изображений на обычном компьютере. Reality Capture превосходит другие ПО благодаря функции быстрого ориентирования снимков, разрешающей построить фотограмметрическую модель за короткий промежуток времени. Это важный инструмент, он хорош для проверки данных сразу на месте съёмки для уточнения, что изображений достаточно и нет пропусков на поверхности оригинала.

Платформы БАС. Выбор беспилотной авиационной системы зависит от типа задачи и её условий, вида получаемых материалов, размеров, местоположения и типа местности объекта съёмки, а также необходимой точности и плотности измерений и, конечно, от метеоусловий. При моделировании авторы использовали малоразмерные БАС, способные нести полезную нагрузку до 2,5 кг. Предпочтение отдавалось моделям вертолетного типа (мультикоптерам) или самолётного типа — летающее крыло [4].

Мультироторные системы часто могут нести большую полезную нагрузку, что позволяет использовать различные типы приборов в разнообразных комбинациях. Благодаря способности летать с малыми скоростями на малых высотах, мультироторные системы позволяют получить снимки практически без сдвига на изображения, в связи с чем они больше подходят, когда требуется получение материалов с очень высокой точностью и отображением мелких деталей поверхности (микрорельефа) модели. Важно и то, что они также могут взлетать и приземляться на небольшой тер-

ритории, не подвергая съёмочную аппаратуру ударным нагрузкам при приземлении. Однако производительность их ограничена вследствие относительно низкой скорости полета и большого энергопотребления.

БАС самолетного типа больше подходят для съемки больших площадей и большей производительности благодаря большим скоростям движения носителя. Но высокие скорости полета до 80 км/ч ведут к недопустимым величинам деформации изображения, а приземление их на парашюте неизбежно подвергает ударным нагрузкам съёмочную аппаратуру.

Отметим, что в настоящее время на рынке БАС появляются летательные аппараты – конвертопланы (VTOL системы), комбинирующие в себе преимущества мультироторных систем и БАС самолетного типа.

В исследованиях авторы использовали данные модели БАС – DJI Phantom 4 RTK + D-RTK 2 Mobile Station Combo с пилотажно-навигационным оборудованием четвертого поколения и мобильной станцией для RTK. В табл. 1 приведены основные параметры и данные фототосъёмочной системы при имитационном моделировании [6].

Экспериментальное моделирование *АФС* и некоторые результаты

Особенность компьютерного моделирования аэросъемочных процессов в исследовании авторов заключается в возможности многовариантного выполнения аэрофотосъёмочных работ с внесением систематических или случайных отклонений в заданные значения параметров аэрофотосъемки с фиксацией этих параметров для всех точек фотографирования. Это по-

зволяет определить, какие именно группы аэрофотосъемочных параметров и их изменения существенно влияют на точность построения трехмерных моделей эталонной территории с помощью фотограмметрического инструментария. Таким образом можно произвести моделирование достаточно большого количества вариантов выполнения с различными параметрами, которые, по мнению авторов, могут существенно повлиять на точность итогового результата в построении ЦММ. Прежде всего, это:

- точность определения элементов внешнего и внутреннего ориентирования снимков;
- точность выдерживания траектории движения БВС;
- выдерживание расчетных продольного и поперечного перекрытий снимков;
- количество, точность определения и расположение опорных и контрольных точек;
- расположение опорных и контрольных точек; особенности используемых программ
- фототопографической обработки; пространственное разрешение изображений и т.д.

Все перечисленные параметры и их значения, «зашумленные» заданным уровнем погрешностей, были использованы при многовариантном имитационном моделировании технологического процесса создания цифровой модели местности, по результатам которого авторы апробировали метод выявления оптимальных условий проведений летно-съёмочного процесса для получения приемлемых по точности результатов.

Первым шагом в имитационных экспериментах, очевидно, был этап проектирования аэрофототопографических работ, который включал определение высоты и масштаба фотографирования при заданных параметрах съёмочной камеры, а также расчет аэрофотосъёмочных элементов – положения точек фотографирования, продольного и поперечного базисов фотографирования, числа снимков в маршрутах и количество маршрутов съёмки. Высота фотографирования определяет пространственное разрешение получаемых изображений, охват местности снимками, поперечные и продольные базисы фотографирования, общее количество снимков и, как следствие, продолжительность и производительность съёмки. Высоту полета авторы устанавливали исходя из заданного размера проекции пикселя на поверхности (англ. Ground Sample Dastans – GSD – близкую к линейному разрешению снимков) учитывая при этом отношение перепада высот местности к высоте съёмки. Задавая значение GSD при известном фокусном расстоянии фотосистемы f_k , высоту фотографирования можно определить из выражения [7]:

$$H_{\phi} = 2R \cdot GSD \cdot f_{\kappa} / \delta, \tag{1}$$

 H_{ϕ} – высота фотографирования относительно заданной поверхности (м);

 $f_{\rm k}$ — фокусное расстояние фотосистемы (м); GSD — проекция пикселя матрицы ЦАФА на заданной поверхности (м);

R — разрешение на матрице (цикл / пиксель);

 δ – размер пикселя матрицы (м).

Важным вопросом у авторов в исследованиях было установление количества и расположение опорных точек для внешнего ориентирования и масштабирования модели и контрольных точек, по которым авторы на всех этапах экспериментальных работ оценивали точность построения конечной модели, а значит, качество работ.

По результатам первичных расчетов применительно к задаче создания ЦММ первичной (эталонной) модели местности (рис. 1) были приняты следующие значения летно-съёмочных параметров для первого варианта съёмки: высота фотографирования 260 (или 520) м, при перепадах высот до 65 м, продольное перекрытие с учетом рельефа 78%, поперечное 45%. Количество опорных точек — 5, контрольных — 9. Их расположение представлено на рис. 2.



Рис. 2. Расположение опорных (в красном круге) и контрольных (в жёлтом квадрате) точек на территории съёмки

Применяемая авторами для имитационного моделирования аэрофотосъёмки платформа DJI Phantom 4 RTK + D-RTK, как известно, имеет в своем составе «неметрическую» съёмочную камеру с фокусным

расстоянием 8,8 мм [8]. Одна из первых задач имитационного моделирования АФС состояла в том, чтобы выявить влияние на точность формируемой ЦММ при съёмке некалиброванной камеры (а), использование предварительно откалиброванной камеры в лабораторных условиях (б), использование некалиброванной камеры в режиме обработки данных съёмки методом «самокалибровки» (в), а также комбинация этих условий [9].

На рис. 3 представлен очевидный результат в построении фотограмметрической модели по данным, полученным камерой с известными элементами внешнего ориентирования (а) и без них (б), что показывает корректную работу среды моделирования для реализации аэрофототопографического метода.

На рис. 4 представлены значения среднеквадратических отклонений (СКО) полученной модели относительно эталонной по высоте на девяти контрольных точках при разных вариантах использования съёмоч-

ной камеры. Здесь и далее геометрическая точность построения ЦММ, получаемая авторами в имитационных экспериментах, оценивалась по разнице между эталонным значением и конечным результирующим моделированием на контрольных точках (КТ), по формулам (2) оцениваем итоговую точность; теоретически чем ниже значение СКО, тем точнее будет матрица высот [10].

$$CKO_{x,y} = \sqrt{\frac{\sum_{i}^{n} ((x_{ci} - x_{vi})^{2} + (y_{ci} - y_{vi})^{2})}{n}}$$

$$CKO_z = \sqrt{\frac{\sum_{i}^{n} (z_{ci} - z_{vi})^2}{n}},$$
 (2)

где $CKO_{x^{\prime}y}$ и CKO_{z} – среднеквадратичная ошибка по плану (x, y) и высоты (z) соответственно;

 x_{ci} , y_{ci} , u, z_{ci} — координаты і-й КТ, а x_{vi} , y_{vi} , z_{vi} — результаты измерений на контрольных точках.



Рис. 3. Результат обработки снимков с известными значениями ЭВО (а), без параметров калибровки (б)

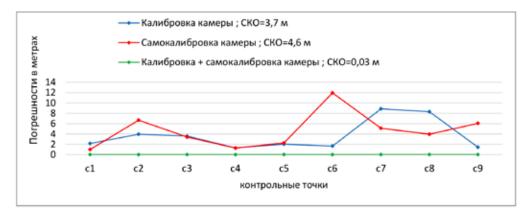


Рис. 4. Влияние параметров калибровки камеры на результаты получаемой модели

Особое внимание было уделено исследованию влияния на точность конечной модели аэросъёмочных параметров — высоты полёта и перекрытий снимков. Проведенные разными авторами эксперименты по оценке точности ЦМР с использованием аэрофотосъемки на БВС при разных высотах показали, что ошибки в определении координат практически не изменялись, пока GSD оставалась постоянной, и имели тенденцию к увеличению с увеличением GSD [11].

Это хорошо согласуется с результатами моделирования в работе авторов данной статьи, где имитирована аэросъёмка на разных высотах с внесением случайных изменений выдерживания высоты полета, углов наклона снимков и определения координат центров проекций снимков. На рис. 5 показан интерфейс программы «Blender 3.0», где в различных окнах программы выставлены расчетные параметры АФС и один из графиков вносимого случайного гауссового отклонения в координату высоты полета. Так, изменение заданной высоты фотографиро-

вания авторами было запрограммировано в пределах $260 \text{ м} \pm 10 \text{ м}$ с максимальной погрешностью в 30 м. При этом фиксирование линейных элементов внешнего ориентирования снимков «колебалось» в пределах $\pm 5 \text{ м}$ с максимальным значением до 15 м. Одновременно вносились случайные изменения в угловые элементы внешнего ориентирования снимков как следствие угловых эволюций БАС, которые задавались в пределах $\pm 3^{\circ}$ с максимальным отклонением до 10° [3].

В табл. 2 представлены результаты имитационного моделирования аэрофототопографической съёмки с данными о внесенных случайных отклонениях в координаты центров проекции, заданные для четырех вариантов взаимных перекрытий снимков и маршрутов при аэрофототопографии эталонной модели с высоты 260 м, что обеспечивало проекцию пикселя снимка на поверхности этой модели порядка 7 см. Обработка данных моделирования съёмки осуществлялась в среде Agisoft MetaShape [4].

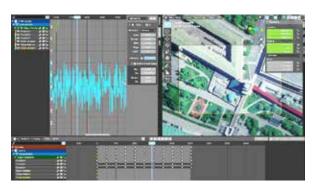


Рис. 5. Установки параметров съёмки и добавление случайных погрешностей «шума» в выдерживании высоты фотографирования в ПО (пояснения в тексте)

 Таблица 2

 Результаты имитационного моделирования с вариантами перекрытия

Вариант съёмки	1	2	3	4
Перекрытие снимков – P_{y} / P_{y} , %	70/45	80/60	90/70	90/90
Количество маршрутов	4	5	7	10
Общее количество снимков	85	141	316	451
Время фотограмметрической обработки в ЦФС «Metashape", (час: минут: секунд)	0: 14: 05	0: 23: 13	0: 57: 24	1: 55: 26
СКО вносимых отклонений в плановые координаты точек фотографирования $(\delta X_{\rm h}, \delta Y_{\rm h})$, метр	±5 (15)*	±5 (15)	±5 (15)	±5 (15)
СКО вносимых отклонений по высоте точек фотографирования (δZ_{a}), метр	±10 (30)*	±10 (30)	±10 (30)	±10 (30)
СКО угловых элементов внешнего ориентирования – α , β , K , град.	±3 (10)	±3 (10)	±3 (10)	±3 (10)
СКО на контрольных точках (в плане δX , δY / высоте δZ), метр	1,54/1,8	1,17/1,92	1,36/1,83	1,28/1,62

 Π р и м е ч а н и е : * — в скобках максимальное значение.

Таблица 3

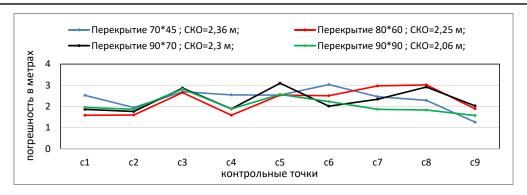


Рис. 6. Влияние перекрытий на точность конечной модели

Сравнение точности и времени трёх программ

	Количество точек	Точность на модели СКО (пиксель)	Время обработки
Agisoft Metashape	1 605 896	0,23	3 ^h 24 ^m 55 ^s
Pix4D	1 444 425	0,5	1 ^h 31 ^m 03 ^s
Reality Capture	590876	0,89	0 ^h 50 ^m 15 ^s

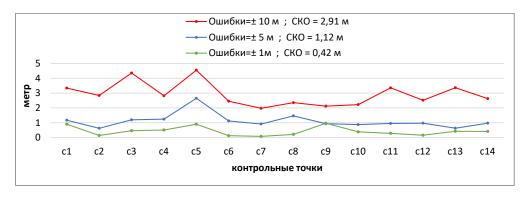


Рис. 7. Погрешности создания модели на контрольных точках в зависимости от введенных случайных ошибок в определении центров фотографирования в режиме RTK при отсутствии опорных точек

Рисунок 6 показывает ошибки в плановых координатах модели по контрольным точкам для разных вариантов съемочных параметров.

Из данных графика и таблицы видно, что с повышением процентов перекрытия снимков точность создания конечной модели незначительно увеличивается, при этом резко возрастает количество снимков и, как следствие, происходит увеличение времени их фотограмметрической обработки.

В этой связи при имитационном моделировании получен интересный результат относительно производительности выбранных трех ЦФС для обработки вариантов модельных съёмок, представленный в табл. 3.

имитационном моделировании процесса аэрофототопографической съёмки выявляются зависимость точности позиционирования (привязки к геодезической СК) создаваемой модели от количества и расположения опорных точек (ОТ) или использования координат центров проекции снимков (центров фотографирования), получаемых при использовании данных базовых станций ГНСС при производстве фотосъёмки. Последний вариант наиболее актуальный, поскольку сегодня практически все съёмки ведутся в режиме RTK. На рис. 7 представлены результаты погрешностей позиционирования создаваемой модели по данным аэрофотосъёмки в режиме RTK для трех вариантов точности фиксирования точек фотографирования съёмочной аппаратуры.

Из анализа результатов, представленных на графиках рис. 7, можно сделать вывод, что погрешности модели на контрольных точках пропорциональны значениям специально введенным погрешностям определения центров фотографирования.

Ещё одним важным результатам имитационного моделирования было выявление значимости точности построения модели в зависимости от высоты фотографирования, то есть от размера проекции пикселя снимка на поверхности эталонной модели местности. На рис. 8 представлены графики погрешностей создания модели (относительно эталона) в зависимости от высоты фотографирования.

Из графика (рис. 8) видно, что погрешности, полученные на контрольных точках созданной модели, увеличиваются с увеличением GSD. В том случае, если использовать фотосистемы с увеличенным фокусным расстоянием пропорционально изменению высоты, то погрешности на контрольных

точках модели практически не изменяются. Следовательно, для увеличения эффективности работ необходимо определить максимальную высоту, на которой возможно получить изображения с допустимым значением GSD, позволяющим обнаружить необходимые детали на поверхности [11].

В ходе исследовательских работ перед авторами стояла задача апробировать комбинирование плановой аэросъёмки и аэросъёмки с тех же точек с небольшими углами наклона «вправо-влево» и «вперед-назад» с борта БАС вертолетного типа с зависанием на точке фотографирования и получения пяти снимков, как показано на рис. 9. Углы наклона рассчитывались из условия получения перекрытия планового снимка с наклонами не менее 30%.

Полученные при этом результаты хорошо согласуются с работами ряда авторов [12, 13], где точность конечной модели по результатам обработки совокупности плановых и наклонных снимков несколько выше, но при этом время обработки такого массива снимков значительно увеличивается.

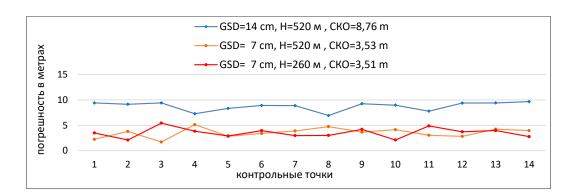


Рис. 8. Погрешности, вызванные ошибками координат в центрах фотографирования и в определениях КТ на разных высотах и пространственных разрешениях GSD

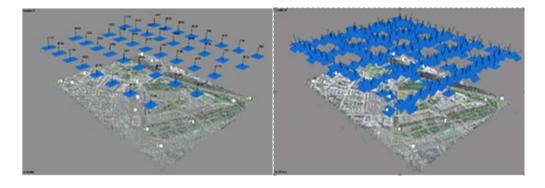


Рис. 9. Результат аэрофотосъёмки: а) плановая съемка б) съемка в пяти направлениях

Выводы

На основании экспериментов с использованием имитационного моделирования аэрофототопографического метода для получения ЦММ и ЦМР территорий, можно сделать следующие выводы:

- А. Основной вывод заключается в том, что имитация процесса аэрофототопографических работ в программе типа «Blender-3» дает точные, корректные результаты, что позволяет ставить экспериментальные работы по аэрофотосъемке на местности, заменяя полевые эксперименты, экономя время и затраты.
- Б. Компьютерное моделирование подтвердило, что использование наряду с плановыми снимками наклонных снимков, как это реализуется в современных цифровых аэрофотоаппаратах с веерным расположением камер, существенно повышает точность ЦММ с улучшением качества передачи элементов модели, имеющих больший угол наклона.
- В. Результаты моделирования и обработки показывают, что разные программы фототопографической обработки дают близкие по точности результаты построения ЦММ и ЦМР и разность между ними только влияет на общую производительность и время обработки в целом.
- Г. Авторы рекомендуют использование методов компьютерного 3D-моделирования для выявления наиболее рациональных вариантов проведения топографической аэрофотосъёмки для создания цифровых моделей местности и других документов по территориям.

Список литературы

- 1. Бабашкин Н., Кадничанский С., Нехин С. Сравнение эффективности аэрофототопографической съемки с использованием беспилотных и пилотируемых авиационных систем // Геопрофи. 2017. № 1. С. 14.
- 2. Захарова П.В. Применение беспилотных летательных аппаратов для топографической съемки // Иннова-

- ционная траектория развития современных наук о Земле: становление, задачи, прогнозы: сборник докладов Международной научно-практической конференции (Белгород, 26–27 октября 2020 г.). Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2020. С. 99–106.
- 3. Курков В.М., Смирнов А.В., Кузнецов В.А. Обзор факторов и условий, влияющих на применение беспилотных воздушных судов, предназначенных для решения задач картографирования // Геоинформатика. 2019. № 3. С. 19–26.
- 4. Алтынов А.Е., Мохаммад А. Исследование влияния вариаций навигационных параметров съемочной системы (аэрофотосъемки, лазерного сканера) на точность создания ЦММ с помощью имитационного моделирования // Успехи современного естествознания. 2022. № 5. С. 110–120.
- 5. Руководство пользователя Agisoft PhotoScan: Professional Edition, версия 1.2-2016. 119 с. URL: https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_ru.pdf (дата обращения: 24.08.2022).
- 6. Мохаммад Акель. Создание крупномасштабных цифровых моделей местности и рельефа в условиях Сирийской Арабской Республики // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2022. Т. 66. № 1. С. 32–41. DOI:10.30533/0536-101X-2022-66-1-32-41.
- 7. Еремеев В.В., Князьков П.А. Оценка разрешающей способности материалов космической съемки на основе их статистического анализа // Современные проблемы ДЗЗ из космоса: М.: Институт космических исследований РАН. 2010. Вып. 7. Т. 2. С. 26–34.
- 8. PHANTOM 4 RTK, Visionary Intelligence. Elevated Accuracy. URL: https://www.dji.com/phantom-4-rtk/info (дата обращения: 25.08.2022).
- 9. Чибуничев А.Г., Говоров А.В., Курков В.М., Смирнов А.В. Испытательный полигон МИИГАиК для тестирования калибровки и сертификации беспилотных летательных систем // Геодезия, картография, кадастр, ГИС проблемы и перспективы развития : Материалы международной научно-технической конференции (Новополоцк, 09–10 июня 2016 г.). Новополоцк: Учреждению образования «Полоцкий государственный университет» = Установа адукацыі «Полацкі дзяржаўны універсітэт», 2016. С. 36–48.
- 10. Русяева Е.А. Теория математической обработки геодезических измерений: учебное пособие. Часть І. Теория ошибок измерений. М.: МИИГАиК, 2016. 56 с.
- 11. De Castro A.I., Gómez-Candón D., López-Granados F. Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat. Precis. Agric. 2014. No. 15. P. 44–56.
- 12. Sadeq H.A. Accuracy assessment using different UAV image overlaps. J. Unmanned Veh. Syst. 2019. No. 7. P. 175–193.
- 13. Rosnell T., Honkavaara E. Point Cloud Generation from Aerial Image Data Acquired by a Quadrocopter Type Micro Unmanned Aerial Vehicle and a Digital Still Camera. Sensors. 2012. No. 12. P. 453–480.

УДК 528.063.1

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Головко А.Н., Скворцов В.П.

Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», Зерноград, e-mail: alexnikgol@rambler.ru

Цель данной статьи – исследовать существующие специализированные программные продукты для применения в геодезических вычислениях. Для достижения поставленной цели были определены основные методы исследования. Для отбора видов основных геодезических вычислений и решаемых задач был применен метод синтеза. В результате предварительного синтеза выделены основные группы геодезических вычислений, которые специалистам приходится выполнять в процессе камеральных работ при обработке полученных данных. Также подобные геодезические вычисления выполняются при обучении специалистов для получения профессиональных навыков. Решение задачи по отбору специализированных программных продуктов было обеспечено методом системного анализа существующего программного обеспечения по критериям, обозначенным целью исследования. Для обеспечения анализа по критериям, направленным на отбор продуктов по выполнению синтезированных групп задач, в связи с большим количеством, существующие специализированные программные продукты были сгруппированы по равным свойствам в несколько групп и из представителей групп сформирована анализируемая база данных. Функциональные возможности программных продуктов были проанализированы по группам решаемых геодезических задач. Анализ показал, что программные продукты платных, бесплатных групп и программных комплексов имеют равные возможности для достижения поставленной цели. Предпочтение в использовании программных продуктов для выполнения геодезических вычислений может быть связано только с областью их применения в учебном или производственном циклах. В результате проведенного анализа разработаны рекомендации по применению специализированных программных продуктов для различных практических направлений, таких как обучение специалистов, обработка результатов геодезических изысканий, сопровождение документооборота геодезических изысканий.

Ключевые слова: программные продукты, геодезические вычисления, теодолитный ход, нивелирный ход, прямая угловая засечка, прямоугольные координаты, полярная засечка, обратная угловая засечка

APPLICATION OF SPECIALIZED SOFTWARE FOR GEODETIC CALCULATIONS

Golovko A.N., Skvortsov V.P.

Azov-Black Sea Engineering Institute of Don State Agrarian University, Zernograd, e-mail: alexnikgol@rambler.ru

The purpose of this article is to investigate existing specialized software products for use in geodetic calculations. To achieve this goal, the main research methods were identified. To select the types of basic geodetic calculations and solved problems, the synthesis method was used. As a result of the preliminary synthesis, the main groups of geodetic calculations are identified, which specialists have to perform in the process of office work when processing the obtained data. Also, such geodetic calculations are carried out when training specialists to obtain professional skills. The solution to the task of selecting specialized software products was provided by the method of systematic analysis of existing software according to the criteria indicated by the purpose of the study. To ensure analysis according to the criteria aimed at selection of products for performance of synthesized groups of tasks, due to a significant number, existing specialized software products were grouped by equal properties into several groups and the analyzed database was formed from representatives of groups. Functionality of software products was analyzed by groups of solved geodetic tasks. The analysis showed that software products of paid, free groups and software complexes have equal opportunities to achieve their goal. The preference for using geodetic software can only be related to the scope of their use in training or production cycles. As a result of the analysis, recommendations were developed for the use of specialized software products for various practical areas, such as training specialists, processing the results of geodetic surveys, and maintaining the document flow of geodetic surveys.

Keywords: software products, geodetic calculations, traverse, levelling traverse, rectangular coordinates, polar tick, straight angular tick, reverse angular tick

Развитие современного рынка программных продуктов охватывает основные сферы деятельности в области инженерных изысканий, в том числе и в области геодезических построений. Обработка данных, полученных с использованием современного геодезического оборудования, осуществляется как с помощью специали-

зированного программного обеспечения, созданного для применяемого оборудования, так и с помощью специализированных программных комплексов. Использование специализированных программ позволяет выполнять геодезические инженерные расчеты различной сложности и различного характера. В настоящее время наблюдается

снижение выбора программных продуктов иностранных разработчиков из-за политических и экономических ограничений, поэтому специалисты вынуждены искать альтернативные отечественные программные продукты. При обучении специалистов возникает необходимость выполнения простых инженерных расчетов, не требующих мощных программных средств для обработки данных. В таких случаях для использования подходят программные продукты или модули программных комплексов, позволяющие решать такие элементарные задачи.

Целью исследования является анализ возможностей применения существующих прикладных программ для выполнения геодезических вычислений в камеральных работах и обучении специалистов.

Материалы и методы исследования

В работе применялись методы системного анализа и системного синтеза. Системный анализ позволяет выявить программные продукты, решающие поставленные задачи, а системный синтез позволяет показать, какие из задач решаются отобранными в результате анализа программными продуктами.

Результаты исследования и их обсуждение

Практические повседневные расчеты, а также решение практических заданий в период обучения специалистов, в программу обучения которых входят такие дисциплины, как прикладная геодезия, инженерная геодезия и т.д., возникает необходимость решения отдельных расчетов, связанных с геодезическими построениями [1, 2]. Для осуществления таких расчетов были проанализированы и отобраны наиболее часто используемые, перечень которых приведен в табл. 1. Основными группами наиболее используемых задач являются задачи с пересчетом координат точек, задачи по нахождению параметров точки по другим известным параметрам, задачи по определению параметров теодолитных ходов и уравниванию параметров полученных геодезических данных [1–3]. Некоторые из выделенных задач включены в пакеты программного обеспечения геодезического оборудования и обработки данных, полученных при выполнении полевых работ. Однако выполнить расчеты по некоторым из перечисленных задач в комплексных программных решениях отдельно не представляется возможным, хотя

такая необходимость часто возникает при решении практических задач. На зарубежных и отечественных рынках программного обеспечения представлен ряд программных продуктов, позволяющих адресно или комплексно решать поставленные задачи [4–6].

По типу решаемых задач все программные продукты для вычисления геодезических построений можно разделить на следующие группы: работа с системами координат; работа с геометрическими построениями; корректировка геодезических построений; вспомогательные расчеты [6-8]. Все группы решаемых задач равноценно используются как опытными специалистами, так и обучающимися по специальности, поэтому востребованность таких программных продуктов очевидна. Результаты синтеза существующего программного обеспечения, позволяющие решать поставленные задачи, представлены в табл. 2. В таблице представлены некоторые популярные программы, которые используются специалистами в расчетах согласно многим геодезическим форумам [9]. В рамках анализа были рассмотрены как платные продукты, так и свободно распространяемые для использования. Основными критериями оценки при анализе выступали наибольшее количество решаемых задач и доступность программного продукта.

Многие программные продукты, такие как «Геодезический калькулятор для Excel 2000/XP — редакция 01.06.2005», «Excel для геодезии Версия 2.55» и подобные, несмотря на дату разработки и относительно простой механизм обработки данных, включают в себя все необходимые для произведения вычислений задачи [9, 10]. Простой и свободно варьируемый ввод данных позволяет добавлять и настраивать под частные случаи меню исходных данных.

Программные комплексы многозадачного назначения, такие как «CREDO-DIA-LOG ДАТ», «ГЕОМИКС Маркшейдерия» и другие аналогичные программные продукты, не показанные в анализе, позволяют решать кроме анализируемых задач весь комплекс сопровождения оформления геодезической и другой связанной деятельности [9–11]. Такие программные продукты подходят для специалистов, работающих на предприятиях, финансовая деятельность которых позволяет приобрести данные программные продукты, и не подходят для начинающих специалистов, а также для решения задач в период обучения профессиональным навыкам.

Таблица 1

Перечень часто используемых в геодезических расчетах задач

Вид решаемой задачи	Область использования
Перевычисление плоских прямоугольных координат по двум связующим пунктам	Пересчет координат из одной системы в другую при неизвестных параметрах перехода
Прямая геодезическая задача	Определение по известным координатам одной точки горизонтального проложения и дирекционного угла координат другой точки
Обратная геодезическая задача	Определение по известным координатам двух точек величины горизонтального проложения и дирекционного угла
Вычисление координат пересечения двух прямых	Определение координаты точки пересечения двух прямых по координатам лежащих на них точек
Пересчет координат из одной системы в другую	Определение параметров пересчета координат точек из одной координатной системы в другую
Полярная засечка, расстояния измеряются по рулетке	Вычисление координат и отметок пикетных точек, определяемых по рулетке
Полярная засечка, расстояния измеряются по рейке	Вычисление координат и отметок пикетных точек, определяемых по рейке
Прямая угловая засечка	Уравнивание параметров прямой многократной засечки
Обратная угловая засечка	Уравнивание параметров обратной многократной засечки
Линейная засечка	Уравнивание параметров линейной многократной засечки
Обработка журнала круговых приемов	Вычисление горизонтальных углов по способу круговых приемов
Вычисление координат из обратной засечки (задача Ганзена)	Определение положения двух пунктов по двум исходным
Решение треугольника по трем известным элементам	Вычисление параметров треугольника координатных точек по трем известным параметрам
Операции с углами в формате D.mmss	Вычисление среднего, суммы и разности углов в формате D.mmss
Теодолитный ход	Вычисление координат точек теодолитного хода
«Висячий» теодолитный ход	Вычисление координат точек разомкнутого теодолитного хода
Расстояние от точек до прямой линии по перпендикуляру	Определение расстояния от точек до створной линии
Вычисление площади замкнутой фигуры по координатам углов	Вычисление площади фигуры по координатам основных точек контура
Определение координат точек перпендикулярами от створной линии	Определение координат заданных точек по расстоянию перпендикуляра к точке от створной линии
Определение крена вертикальных сооружений	Определение крена вертикального сооружения по трем осадочным маркам
Вычисление параметров цепочки точек по координатам	Определение расстояний и углов между точками цепочки по известным координатам
Геодезический четырехугольник	Вычисление поправок для получения уравненных углов геодезического четырехугольника
Уравнивание одиночного нивелирного хода	Уравнивание отметок превышений одиночного нивелирного хода
Параметры выноса на местность координатных точек	Расчет основных параметров выноса на местность заданных координатных точек
Уравнивание теодолитного хода с координатной привязкой	Расчет параметров для уравнивания точек теодолитного хода с координатной привязкой
Уравнивание координатного хода с координатной привязкой	Уравнивание вытянутого тахеометрического координатного хода

 Таблица 2

 Результаты анализа программных продуктов по критериям оценки

Название программного продукта	Работа с системами координат	Работа с гео- метрическими построениями	Корректировка геодезических построений	Вспомо- гательные расчеты
Перевычисление Списка координат из одной системы плоских прямоугольных координат в другую v 5.2 (с) 02.01.20 (свободно распространяемая)	+	-	-	-
Geodezist СевКавАГП 2019-03-16 (свободно распространяемая)	+	-	+	+
Таблицы MS Excel для преобразования координат 0.20220715 (свободно распространяемая)	+	-	-	-
Excel для геодезии Версия 2.55 (свободно распространяемая)	+	-	-	+
Координатный калькулятор EXCEL 2021-05-27 (свободно распространяемая)	+	-	-	+
ГЕОМИКС Маркшейдерия (платная)	-	+	+	+
LCT «САМАРА» (платная)	-	+	+	+
«Топоматик Robur – Изыскания» (платная)	-	+	+	+
MicroSurvey FieldGenius (платная)	+	+	+	+
K-MINE Проектирование (платная)	-	+	+	+
PHOTOMODGeoCalculator (платная)	+	+	+	+
CREDO-DIALOG программный комплекс обработки инженерных изысканий, цифрового моделирования местности, проектирования генпланов и автомобильных дорог ДАТ (платная)	+	+	+	+
Геодезический калькулятор для Excel 2000/XP – редакция 01.06.2005 (свободно распространяемая)	+	+	+	+
Geodezia 1.00 (свободно распространяемая)	-	-	-	+
Трасса версия 1, ООО «ИнжТоннельГеодезия» (свободно распространяемая)	-	+	-	-
ТОГИ v2.11.0 (свободно распространяемая)	-	+	+	+

«CREDO-DIALOG ДАТ» предназначена для автоматизации камеральной обработки полевых инженерно-геодезических данных и измерений, выполненных с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и цифровых нивелиров (ЦН), а также традиционных средств координатных определений. Этот программный комплекс позволяет выполнять такие задачи, как проектирование и создание опорных планово-высотных городских, межевых, инженерных, специальных сетей, выполнять линейные и площадные инженерные изыскания объектов промышленного, гражданского и транспортного строительства, а также выполнять множество других задач в области маркшейдерского обеспечения работ при добыче и транспортировке нефти и газа. Однако стоимость данного программного комплекса соизмерима с ее функциональными возможностями и в зависимости от набора входящих в нее модулей может достигать 70–75 тыс. руб. [12].

Программный комплекс «ГЕОМИКС Маркшейдерия» имеет еще более расширенные возможности, чем «СREDO-DIA-LOG ДАТ», позволяет строить в автоматическом режиме продольные и поперечные профили и многое другое, однако и его стоимость на порядок выше стоимости предыдущего программного комплекса и достигает 710 тыс. руб. [10, 12].

В анализе не были затронуты программные продукты, разработанные для геодезического оборудования определенных фирм и моделей, так как это специализированное

программное обеспечение работает только с форматом данных, полученных в процессе работы на определенном оборудовании, и не подходят для широкого использования, хотя данные программные продукты позволяют решать многие из рассматриваемых в анализе задач.

Заключение

В результате анализа по требуемым группам решаемых задач из платных модульных программных продуктов необходимо выделить такие, как MicroSurvey FieldGenius, PHOTOMODGeoCalculator и CREDO-DI-ALOG программный комплекс обработки инженерных изысканий, цифрового моделирования местности, проектирования генпланов и автомобильных дорог ДАТ. Данные программные продукты рекомендованы для использования в организациях, деятельность которых связана не только с решением искомых задач, но и другими функциями, поддерживаемыми модулями перечисленных выше программных комплексов. Это делает использование данных продуктов более экономически оправданным, так как стоимость этих продуктов значительно превышает стоимость выполненных работ с помощью групп анализируемых задач. Причем последний из обозначенных программных комплексов - отечественная разработка, поэтому предпочтительнее остальных в рамках политики нашей страны по импортозамещению, а также в плане получения технической поддержки и обновления. Группа свободно распространяемых программных продуктов, таких как «Геодезический калькулятор для Excel 2000/XP – редакция 01.06.2005», предпочтительнее для разового и периодического использования при необходимости решения групп анализируемых задач, а также значительно расширяет возможности усвоения практических навыков при обучении по геодезическим направлениям.

Список литературы

- 1. Глухих М.А. Землеустройство с основами геодезии. Практикум: учебное пособие для ВО. 1-е изд. М.: Лань, 2020. 136 с.
- 2. Кузнецов О.Ф. Инженерная геодезия. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 268 с.
- 3. Томсон П.В. Разработка алгоритма вычисления геодезической широты в функции пространственных геоцентрических координат // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2016. № 2 (36). С. 67–72.
- 4. Медведев П.А. Совершенствование формул со средними аргументами для решения обратной геодезической задачи // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2014. № 1 (13). С. 46–48.
- 5. Соколов Ю.Г., Гурский И.Н., Струсь С.С., Пшидаток С.К. К определению координат точек обратной угловой засечкой // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 118. С. 1387–1395.
- 6. Варфоломеев А.Ф. Обработка геодезических данных с использованием современных программных продуктов: учебное пособие. Саранск: Издательство Мордовского университета, 2017. 89 с.
- 7. Пухаев Л.А., Кочиев Г.К. Современные инструменты, технологии и программное обеспечение в инженерной геодезии // Вестник науки и образования. 2022. № 4–2 (124). С. 18–23.
- 8. Геодезист. [Электронный ресурс]. URL: https://store.softline.ru/ (дата обращения: 27.07.2022).
- 9. Geostart. Геодезические программы. [Электронный pecypc]. URL: https://geostart.ru/post/57#hq2=undefined/ (дата обращения: 27.07.2022).
- 10. Программные продукты и технологии КРЕДО. [Электронный ресурс]. URL: https://credo-dialogue.ru/produkty/korobochnye-produkty/239-credo-dat-professional-naznachenie.html (дата обращения: 11.08.2022).
- 11. Geomix. Страница продукта «ГЕОМИКС Маркшейдерия». [Электронный ресурс]. URL: https://geomix.ru/ software/geomix/markshejderija/. (дата обращения: 11.08.2022).
- 12. Geomix. Страница стоимости продуктов. [Электронный ресурс]. URL: https://geomix.ru/price/ (дата обращения: 11.08.2022).

УДК 528.9

КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ОСАДКОВ МАВРИТАНИИ

Кан Налла

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии», Москва, e-mail: nallakane10@gmail.com

В статье представлена серия разработанных и составленных взаимосвязанных карт распределения, количества и динамики атмосферных осадков на территории Исламской Республики Мавритании. Мавритания – одна из стран, наиболее пострадавших от недостатка и отсутствия осадков. Применение картографического метода исследования является попыткой компенсировать дефицит фактических данных, которых практически нет. В исследовании учтена специфика климатических особенностей страны, выражающаяся в существовании сухого и влажного периодов. Динамика осадков показана по репрезентативным месяцам сухого и влажного периодов за 1990–2000 гг. Именно за эти годы получены наиболее представительные климатические данные WorldClim, доступные на вебсайте службы Великобритании. Задача выбора способа изображения решена применением шкалы изолиний с установленной степенью подробности выделяемых градаций изолиний-изогиет с учетом обеспеченности данными. Проведение изолиний выполнено с применением географической интерполяции, основанной на физико-географическом анализе количественных данных и установлении взаимосвязей климатических показателей между собой и с другими компонентами природы. Приведена интерпретация содержания карт и выводы по динамике осадков. В результате картографического исследования удалось установить количество и характер распределения осадков по стране за исследуемый период, что иллюстрируется девятью картами, включая разностные за 1990 и 2000 гг. Полученные результаты могут иметь значение для изучения пространственно-временной изменчивости климата африканского региона, а значит, и для многочисленных отраслей экономики.

Ключевые слова: Мавритания, карты атмосферных осадков, распределение осадков, количество, динамика, влажный, сухой периоды, климатические данные

MAPPING ASSESSMENT OF THE DYNAMICS OF PRECIPITATION IN MAURITANIA

Kane Nalla

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, e-mail: nallakane10@gmail.com

The article presents a series of developed interconnected maps of the distribution, amount and dynamics of precipitation in the territory of the Islamic Republic of Mauritania. Mauritania is one of the countries most affected by deficiency and lack of rainfall. The use of the cartographic method of research is an attempt to compensate for the lack of actual data, which are practically non-existent. The study takes into account the specifics of the country's climatic features, expressed in the existence of dry and wet periods. Precipitation trends are shown for representative dry and wet months for 1990-2000. It was during these years that the most representative WorldClim climate data available on the website of the UK service was obtained. The problem of choosing the image method is solved by using the isoline scale with the established degree of detail of the distinguished gradations of isolines-isohyets, taking into account the availability of data. The isolines were drawn using geographic interpolation based on the physical and geographical analysis of quantitative data and the establishment of relationships between climatic indicators and with other components of nature. An interpretation of the content of the maps and conclusions on the dynamics of precipitation are given. As a result of the cartographic study, it was possible to establish the amount and nature of the distribution of precipitation throughout the country for the study period, which is illustrated by nine maps, including difference maps for 1990 and 2000. The results obtained may be important for studying the spatiotemporal climate variability of the African region, and hence for numerous sectors of the economy.

Keywords: Mauritania, precipitation maps, precipitation distribution, quantity, dynamic, wet, dry period, climate data

Единой закономерности в изменениях количества осадков на земном шаре не отмечено, что предопределено значительной неоднородностью атмосферных полей в разных физико-географических зонах и разнообразием факторов и условий, которые приводят к их образованию и выпадению.

Атмосферные осадки являются основным источником увлажнения суши. В условиях современного изменения климата необходимо постоянно контролировать их количество. От достоверности определения

количества осадков зависит точность расчетов, относящихся к уравнениям водного баланса суши, связи теплового и водного балансов, водохозяйственным расчетам, в том числе к оценке урожайности. Современные климатические изменения, а именно повышение температуры воздуха имеет решающее значение для формирования количества фактической природной влаги в границах одной страны или объединенного региона. Сегодня все новые отрасли народного хозяйства становятся потребителями информации об атмосферных осадках [1, 2].

Чрезвычайно возросшие потребности в воде диктуют жесткие требования к мониторингу количества и качества природной влаги. Экономический ущерб от опасных явлений погоды может быть вызван ростом повторяемости и интенсивности ливневых осадков либо уменьшением количества осадков летнего и особенно зимнего периода.

Мавритания — одна из стран Африки, наиболее пострадавших от отсутствия осадков. Уменьшается не только количество дождей, но и осадки мало распространены на территории страны. Исследования осадков в Мавритании проводятся редко, поэтому данные практически отсутствуют. Чтобы понять распределение осадков на территории страны, нами проведено исследование их динамики в 1990—2000 гг.

Применение картографического метода в изучении указанной проблемы является

попыткой компенсировать недостаток фактических данных. Этим объясняется выбор периода (1990–2000 гг.), обеспеченный допустимо необходимым объемом климатической информации.

Целью исследования является картографическая оценка динамики осадков Исламской Республики Мавритания за 1990—2000 гг. Программа работы предусматривает составление разновременных карт осадков страны, отображающих их количество, в наиболее репрезентативные месяцы разных периодов 1990, 1995, 2000 гг. и сравнение результатов.

Специфика работы связана с учетом климатических особенностей страны, выражающихся в существовании в течение года влажного и сухого периодов, которые продолжаются соответственно с июля по сентябрь и с октябрь по июнь.

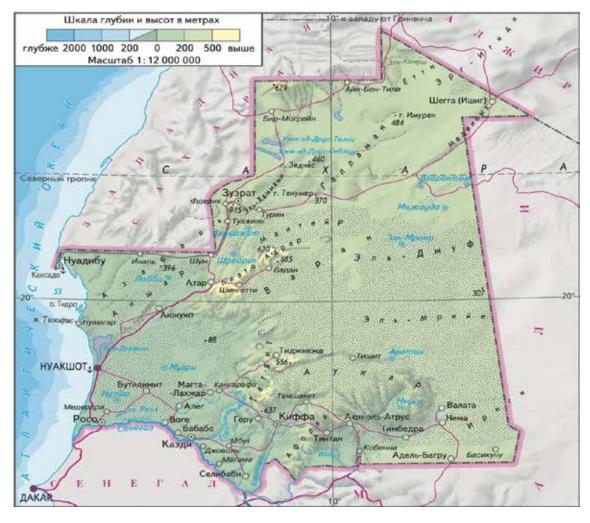


Рис. 1. Географическое положение Мавритании

Материалы и методы исследования

В работе использована географическая литература по Мавритании с акцентом на биоклиматические зоны и типы климата.

Для создания карт получены климатические данные WorldClim, доступные на вебсайте климатической службы Великобритании (https://worldclim.org/). Это набор пространственных данных в виде растровых изображений, каждая ячейка которого содержит информацию о значении того или иного климатического показателя. Набор включает минимальную, максимальную, среднюю температуру, количество осадков за каждый месяц, комплекс результирующих характеристик BioClim, а также цифровую модель высоты, прошлые, будущие климатические данные. При создании набора WorldClim в качестве исходной информации использованы результаты наблюдений с метеорологических станций всего мира за 1950–2000 гг. [3].

При построении изогиет и шкал работа выполнялась в программах: Arcgis, ArcMap 10.4, Qgis и Adobe Illustrator.

Для определения изогиет был использован модуль извлечения полигона. В этой части должен быть определен интервал линий контура. Этот модуль используется для получения контуров разных значении (ступеней) шкалы.

Результаты исследования и их обсуждение

Мавритания отличается географическим положением между Сахарой и Сахелем и характеризуется тремя типами климата:

- пустынный климат сахарского типа, связанный с количеством осадков менее 150 мм/год и охватывающий более 80% территории страны;
- климат сахело-сахарского типа, характеризующийся высокой температурной амплитудой, сухим сезоном от 9 до 10 месяцев и дождем от 150 до 300 мм в центре страны;
- сухой тропический климат сахело-суданского типа: он относится только к ограниченному району реки на юге страны и характеризуется 8 сухими месяцами и осадками порядка 400 мм/год [4].

Исходя из особенностей климата страны, динамика распределения осадков показана на согласованных взаимосвязанных и сопоставимых картах дифференцированно для сухого и влажного периодов.

Для проектируемой серии карт выбран масштаб 1: 7 500 000 — оптимальный для отображения территории страны и темати-

ческого содержания. Как основной источник проектирования общегеографической основы использована справочная карта Мавритании масштаба 1:2 500 000.

По объему содержания легенды создаваемых карт отображают одну тему – характер увлажнения территории с характеристикой количественного показателя осадков и их размещения.

Задача выбора способа изображения решена применением шкалы изолиний с указанием интервалов, через которые они проведены, а также из показателей крайних величин и при необходимости характерных точек. Для этого установлена степень подробности выделяемых градаций изолиний изогиет (с учетом обеспеченности данными).

Проведение изолиний выполнено с применением географической интерполяции, основанной на физико-географическом анализе количественных данных и установлении взаимосвязей климатических показателей между собой и с другими компонентами природы.

Сухой период длится на протяжении 9 месяцев с октября по июнь.

Самый засушливый месяц в Мавритании – май, количество осадков в этом месяце очень низкое. В мае 1990 г. наблюдается их минимальное количество – от 1 до 7 мм (рис. 2).

В отличие от 1990 г. в мае 1995 г. наблюдались осадки с более высокими значениями по сравнению с маем 1990 г, но с очень неравномерным распределением по территории страны. Эти осадки были более сконцентрированы вокруг Селибаби, Немы, Киффы и Тиджикджи (рис. 3).

Май 2000 г. отличался минимальным распространением осадков — по территории только юго-восточной части страны, но значительной интенсивностью дождей и большим количеством осадков — до 21 мм по сравнению с 7 мм предыдущих 1990 и 1995 гг. (рис. 4, 5).

Столь существенное отсутствие осадков в сухой период мая на большей части страны связано с чрезвычайно высокими температурами этого месяца и в какой-то мере с отсутствием растительного покрова. Тем не менее можно констатировать, что май 1990 и 1995 гг. был относительно дождливым на южной части страны.

На разностной карте осадков периода засухи видно, как большая часть территории сильно страдает из-за уменьшения их количества. В районах, где осадки выпадали в течение всего периода засухи, их количество колебалось от 9 до 2 мм [5, 6].

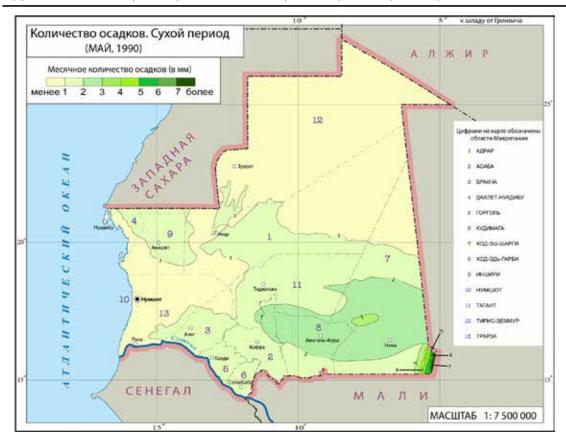


Рис. 2. Карта сухого периода – май 1990 г.

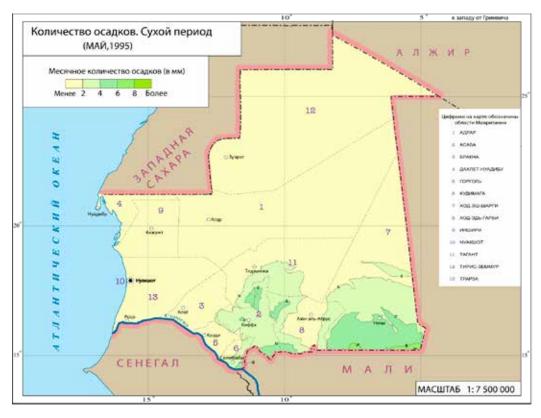


Рис. 3. Карта сухого периода – май 1995 г.

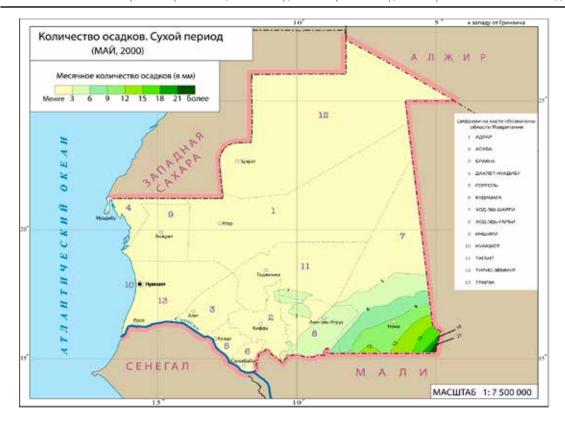


Рис. 4. Карта сухого периода – май 2000 г.

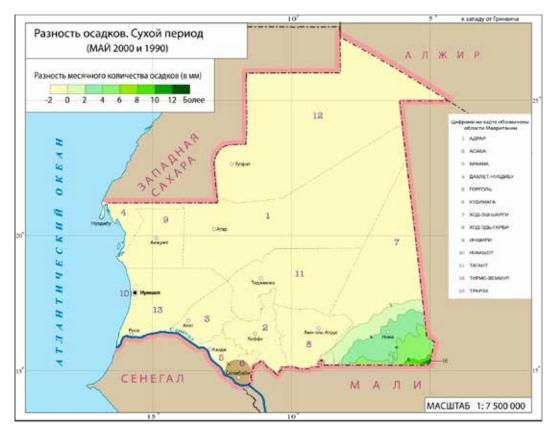


Рис. 5. Карта разности осадков сухого периода – май 2000 и 1990 гг.

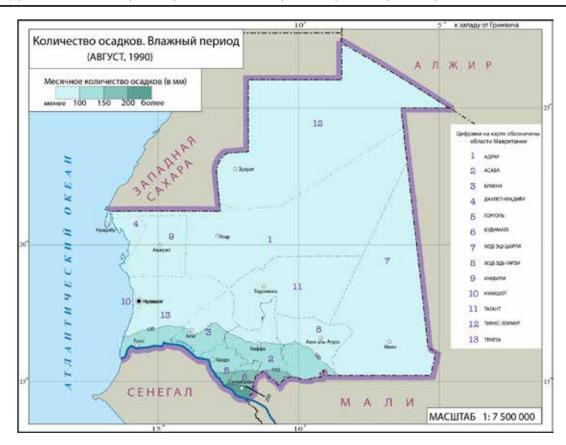


Рис. 6. Карта влажного периода – август 1990 г.

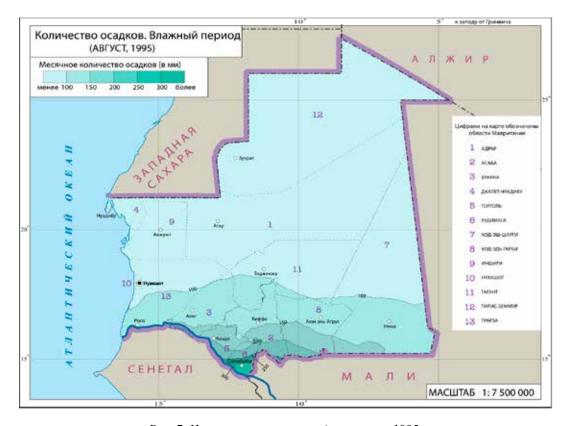


Рис. 7. Карта влажного периода – август 1995 г.

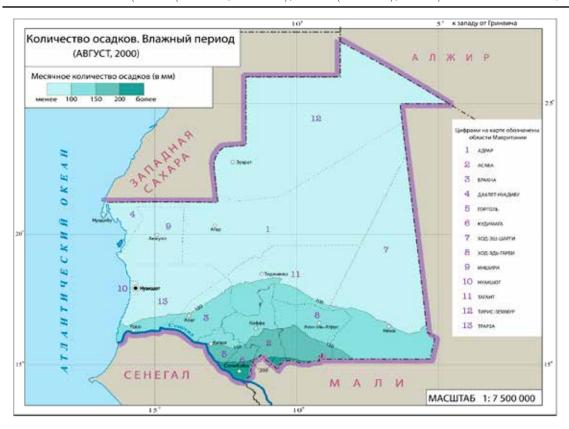


Рис. 8. Карта влажного периода – август 2000 год

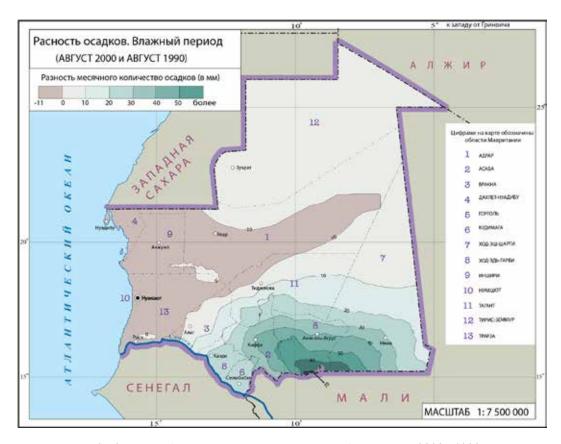


Рис. 9. Карта осадков разности влажного периода – август 2000 и 1990 гг.

Влажный период длится на протяжении трех месяцев, с июля по сентябрь. Самый влажный месяц август.

Количество осадков в августе за 1990 г. находится в диапазоне значений 100–200 мм. Их распределение недостаточно по площади и неравномерно. Осадки, так же как и в сухой период, сосредоточены в южной части страны, но со смещением больших значений к западу, побережью Атлантического океана (рис. 6).

Август 1995 г. значительно отличается от 1990 г. Эволюция 100-миллиметровой изогиеты выражается в большем продвижении на север и восток страны. В самом южном районе Салибаби количество осадков достигает 250–300 мм (рис. 7).

К северу от 100-миллиметровой изогеты осадки выпадают, но в небольшом количестве.

В августе 2000 г. количество осадков незначительно уменьшается, достигая в районе Селибаби максимума уже не 300 мм, как в 1995 г., а только 200 мм (рис. 8).

Разностная карта влажного периода (рис. 9) показывает существенную динамику осадков в исследуемое десятилетие. В 2000 г. количество осадков в целом значительно увеличилось. Например, в районе Киффа на 40 мм, в районе Нема на 30 мм и т.п.

Однако выявились и области, в которых осадки в 1990 г. практически не выпадали (-10 мм) (зоны Атар, Акжужт и Нуакшот). Анализ карт влажного периода дает возможность установить места дефицита и хорошей обеспеченности влагой.

В целом по стране удалось установить характер распределения осадков за исследуемый период. Что касается их количества, то оно варьируется в диапазоне от 1 до 23 мм в засушливый период и от 50 до 350 мм в дождливый [7].

Сокращение количества осадков вызвало целый ряд последствий в регионе: уменьшение водных ресурсов и снижение растительного разнообразия, ускорение деградации почвы и опустынивание, повлёкшие за собой стремительную потерю земель пригодных для возделывания, значительное сокращение сельскохозяйственного производства, а также потерю пастбищ и уменьшение поголовья скота.

В результате в сельских общинах резко возрос уровень бедности, что в свою очередь послужило причиной массового исхода в городские центры. В 1980 г. городское на-

селение Мавритании составляло только 27% страны, в 2019 г. этот показатель вырос более чем вдвое и составил рекордные 55% [8].

Заключение

Проведенная научно-экспериментальная работа в очередной раз подтверждает плодотворность картографического метода исследований. Даже в условиях недостатка и даже отсутствия фактических данных удается получить сведения, важные для малоизученного в каком-либо отношении региона. В нашем случае составленная серия карт осадков позволила количественно охарактеризовать проявления динамики осадков на территории Исламской Республики Мавритании в достаточно длительный период. Это может быть важно для изучения пространственно-временной изменчивости климата африканского региона.

Данная работа позволяет нам проследить непосредственную связь между архивными сведениям и социально-экономической ситуацией в современной Мавритании. Так, архивные материалы раскрывают и позволяют исследовать источники многих насущных проблем страны, а это закладывает основу для новых подходов к их решению и стабилизации жизни в стране.

Список литературы

- 1. Швер Ц.А. Закономерности распределения количества осадков на континентах. Л.: Гидрометеоиздат, 1984.
- 2. Данова Т.Е., Касаджик Т.Л. Оценка современной изменчивости повторяемости и количества осадков статистическими методами // Региональные геосистемы. 2013. № 7 (160).
- 3. Ивлиева Н.Г., Папкина Е.О. Использование набора данных WorldClim для картографического моделирования и анализа // Orapeв-online. 2015. № 24.
- 4. Zeineddine Nouaceur, Imen Turki, Benoit Laignel. Changements climatiques au Sahel: des conditions plus humides et plus chaudes en Mauritanie. Secheresse 2013. No. 24. P. 85–95.
- 5. Gafrej R., Labbene Y., de Rafael R. Etude de la vulnérabilité et Plan d'adaptation de la Région de Nouakchott face au changement climatique. Mai 2019. 228 p.
- 6. Литвиненко Л.Н., Калинина А.А. Распределение осадков на территории Московской области при наличии и отсутствии крупного антропогенного образования // Экология урбанизированных территорий. 2018. № 2. DOI: 10.24411/1816- 1863-2018-12066.
- 7. Amani Michel Kouassi, Koffi Fernand Kouamé, Yao Blaise Koffi, Kouakou Bernard Dje, Jean Emmanuel Paturel y Sekouba Oulare. Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest: cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire, Cybergeo: European Journal of Geography. 2010.
- 8. Julia T., Stefan L., Felicitas R., Christoph G. Profil de risque climatique: Mauritanie fevrier. 2021.12 p.