УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

№ 12 2019

ISSN 1681-7494

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,736

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,258

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

Чернева Ирина Николаевна, к.с.-х.н.

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.с.-х.н., проф. Алабушев А.В. (Зерноград); д.г.-м.н., проф., Алексеев С.В. (Иркутск); д.х.н., проф., Алоев В.З. (Нальчик); д.г.н., проф. Андреев С.С. (Ростов-на-Дону); д.г.н., доцент, Андреева Е.С. (Ростов-на-Дону); д.с.-х.н., доцент Анищенко Л.Н. (Брянск); д.с.-х.н., проф. Байрамбеков Ш.Б. (Камызяк); 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., профессор Галкин А.Ф. (Ухта); д.г.-м.н., проф. Гавришин А.И. (Новочеркасск); 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. Долятовский 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. Зволинский В.П. (Волгоград); д.х.н., проф. Ивашкевич А.Н. (Москва); д.б.н., доцент Кавцевич Н.Н. (Мурманск); д.т.н., проф. Калякин С.А. (Донецк); 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 Копылов И.С. (Пермь); д.г.-м.н., проф. Костицын В.И. (Пермь); д.с.-х.н., проф. Костылев П.И. (Зерноград); д.э.н., проф. Косякова И.В. (Самара); д.с.-х.н., Коцарева Н.В. (Белгород); 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. Лебедев В.И. (Кызыл); д.ф.-м.н., проф. Лерер А.М. (Ростов-на-Дону); д.г.н., проф. Луговской А.М. (Москва); д.г.-м.н., проф. Мельников А.И. (Иркутск); д.т.н., проф. Мусаев В.К. (Москва); д.т.н., доцент Нехорошева А.В. (Ханты-Мансийск); д.с.-х.н., Никитин С.Н.(Ульяновск); д.с.-х.н., Оказова З.П. (Владикавказ); д.с.-х.н., проф. Партоев К. (Душанбе); д.с.-х.н., проф. Петелько А.И. (Мценск); д.т.н., проф. Петров М.Н. (Красноярск); д.т.н., проф. Пирумян Г.П. (Ереван); д.с.-х.н., проф. Проездов П.Н. (Саратов); д.г.-м.н., проф. Сакиев К.С. (Бишкек); д.б.н. Сибикеев С.Н. (Саратов); д.с.-х.н., доцент Сокольская О.Б. (Саратов); д.т.н., проф. Степанов В.В. (Санкт-Петербург); д.т.н., проф. Тарасенко А.А. (Тюмень); д.т.н. Теплухин В.К. (Октябрьский); д.э.н., проф. Титов В.А. (Москва); д.с.-х.н., проф. Титов В.Н. (Саратов); д.с.-х.н., проф. Тихановский А.Н. (Салехард); д.г.-м.н., проф. Трофименко С.В. (Нерюнгри); д.т.н., проф. Ульрих Е.В. (Кемерово); д.г.н., проф. Чодураев Т.М. (Бишкек); д.с.-х.н., проф. Шамшиев Б.Н. (Ош); д.т.н., проф. Шантарин В.Д. (Тюмень); д.т.н., проф. Шатов А.А. (Уфа); д.ф.-м.н., проф. Ширапов Д.Ш. (Улан-Удэ); д.т.н., проф. Шишелова Т.И. (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. Шугунов Л.Ж. (Нальчик); д.г.-м.н., проф. Юргенсон Г.А. (Чита); д.г.н., проф. Яковенко Н.В. (Воронеж); д.т.н., проф. Ямалетдинова К.Ш. (Челябинск)

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 бесплатен.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,736.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,258.

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: 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 – 30.12.2019
Дата выхода номера – 30.01.2020

Формат 60x90 1/8
Типография
ООО «Научно-издательский центр
Академия Естествознания»,
410035, Саратовская область, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка
Байгузова Л.М.
Корректор
Галенкина Е.С.

Способ печати – оперативный.
Распространение по свободной цене.
Усл. п.л. 23,88
Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/12-2019
Подписной индекс П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)

СТАТЬИ

ПРИЧИНЫ НИЗКОЙ ПРИЖИВАЕМОСТИ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ В ЛЕНТОЧНЫХ БОРАХ АЛТАЯ

Гоф А.А., Жигулин Е.В., Залесов С.В. 9

КЛАССИФИКАЦИЯ ОСОБЕЙ В ХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ ЕСТЕСТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ ИЗМЕНЧИВОСТИ

Николаева И.О., Соловьев В.М. 14

БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛИНИЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ С ГЕНАМИ *AGROPYRON ELONGATUM*, УСТОЙЧИВЫХ К СТЕБЛЕВОЙ РЖАВЧИНЕ

Плотникова Л.Я., Кузьмина С.П., Фризен Ю.В. 20

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПОСОБОВ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПРИЕМОВ УХОДА В БОРЬБЕ С СОРНЯКАМИ НА ПОСЕВАХ КУКУРУЗЫ

Тарчоков Х.Ш., Тутукова Д.А., Дугарлиев Р.М. 27

Науки о Земле (25.00.00)

СТАТЬИ

МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ С ПОЗИЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОРЫВА

Гатауллин Р.Ф., Сафиуллин Р.Г. 34

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ НАУЧНЫХ ОСНОВ РАЦИОНАЛЬНОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В СТЕПНЫХ И ЛЕСОСТЕПНЫХ РЕГИОНАХ РОССИИ В XVIII В. – ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XIX В.

Грошева О.А. 39

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ И ОЦЕНКА ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ГВАДЕЛУПЫ СРЕДСТВАМИ ГИС

Иванова А.А., Асташин А.Е., Аракчеева О.В. 45

БИОВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ НИКЕЛЯ, МЕДИ И КОБАЛЬТА ИЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ОБРАБОТАННОЙ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЕМ РУДЫ

Киореску А.В. 51

ЭКСПЕРТИЗА ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ РАЗЛИЧИЙ В УРОВНЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЛЕГКО ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ПРИОРИТЕТНЫХ ЭКОТОКСИКАНТОВ В УРБАНОЗЕМАХ НИЖНЕГО НОВГОРОДА И АНАЛИЗ ИХ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ТОКСИЧНОСТИ

Козлов А.В., Уромова И.П. 57

РЕКРЕАЦИОННЫЙ КАРКАС ГОРОДА БЕЛГОРОДА

Королева И.С. 63

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕДИ, ВАНАДИЯ, НИКЕЛЯ И СВИНЦА В ПОЧВАХ ГОРОДА МОНЧЕГОРСКА

Котова Е.И., Кузнецова И.А., Кряучюнас В.В., Игловский С.А., Мироненко К.А., Бедрина Д.Д. 70

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ГЕТЕРОТРОФНЫХ БАКТЕРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД И МИКРОБНЫХ МАТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУЛЬТУР

Лебедева Е.Г., Харитонова Н.А. *77*

РАЙОНИРОВАНИЕ САКРАЛЬНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЯКУТИИ

Лукина О.Р., Пахомова Л.С. *83*

ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ШИРОТЫ В ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧКАХ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ РУСЛА МАЛОЙ РЕКИ ИРОВКА

Мазуркин П.М., Георгиева Я.О. *89*

ПОЗДНЯЯ ФАЗА АТЛАНТИЧЕСКОГО ПЕРИОДА ГОЛОЦЕНА НА ЮГЕ ПРИМОРЬЯ

Микишин Ю.А., Петренко Т.И., Гвоздева И.Г. *96*

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ И ВЕЩЕСТВЕННОМ СОСТАВЕ КАРА-ОССКОГО ПЕРИДОТИТ-ПИРОКСЕНИТ-ГАББРОНОРИТОВОГО МАССИВА (ТУВА)

Монгуш А.А. *108*

ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТЬ РАССЕЛЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ НА ВОДОСБОРАХ РЕК СТЕПНОГО ЗАВОЛЖЬЯ И ЮЖНОГО УРАЛА

Падалко Ю.А. *116*

ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ПРИДОРОЖНОЙ ТЕРРИТОРИИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТРАССЫ НА ПРИМЕРЕ СУДОГОДСКОГО РАЙОНА ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ

Рагимов А.О., Мазиров М.А., Шентерова Е.М., Зунимаймайти А. *122*

МИКРОЧАСТИЦЫ УГЛЯ В ТОРФЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ ПОЖАРОВ В ГОЛОЦЕНЕ НА ПРИМЕРЕ ТОРФЯНИКОВ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Решетова С.А. *128*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ И МОЩНОСТИ КРИОГЕННОЙ ТОЛЩИ ВИЛЮЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ

Рожин И.И., Аргунова К.К. *134*

МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ РОЛЬ КЛИМАТА В РАЗВИТИИ ПРИРОДНЫХ ЗОН И ПРОВИНЦИЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Скрыльник Г.П. *140*

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОН ПОВЫШЕННОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВА МЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Соколов К.О. *150*

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНЫХ РЕСУРСНЫХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННЫХ КЛАСТЕРОВ (НА ПРИМЕРЕ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ГОРОДА-КУРОРТА АНАПЫ И ГОРОДА НОВОРОССИЙСКА)

Сухов Р.И. *156*

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ГРУНТАХ И ГАЛОФИТАХ ЛИТОРАЛИ БЕЛОГО МОРЯ

Теребова Е.Н., Марковская Е.Ф., Орешникова Н.В., Таскина К.Б., Андросова В.И. *162*

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ ТУРИСТСКИХ РЕСУРСОВ В СОЦИОКУЛЬТУРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ТЮМЕНИ

Третьякова О.В., Созонова Е.Ю. *170*

БИОВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ СУЛЬФИДНОЙ КОБАЛЬТ-МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ РУДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТАНДАРТНОЙ И МОДИФИЦИРОВАННОЙ СРЕД 9К

Хайнасова Т.С. *175*

НЕСПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА ЛЕСОСТЕПНЫХ И СТЕПНЫХ ПОЧВ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Чимитдоржиева Э.О., Чимитдоржиева Г.Д., Цыбенов Ю.Б., Мильхеев Е.Ю., Егорова Р.А. *181*

ОБЗОРЫ

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕЙ: НАПРАВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Сарыглар Ч.А., Чысыма Р.Б. *186*

CONTENTS

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

ARTICLES

REASONS OF LOW SURVIVAL RATE OF COMMON PINE SEEDLINGS WITH A CLOSED ROOT SYSTEM IN ALTAY STRIP-PINE FORESTS

Gof A.A., Zhigulin E.V., Zalesov S.V. 9

CLASSIFYING SPECIMEN WITHIN CONIFEROUS PLANTATIONS OF NATURAL ORIGIN IN ORDER TO ASSESS THEIR VARIABILITY

Nikolaeva I.O., Solovev V.M. 14

BIOCHEMICAL INDICATORS OF GRAIN QUALITY OF PROMISING MILD WHEAT LINES WITH GENES OF *AGROPYRON ELONGATUM*, RESISTANT TO STEM RUST

Plotnikova L.Ya., Kuzmina S.P., Frizen Yu.V. 20

EFFICIENCY OF METHODS OF BASIC SOIL TREATMENT AND MEANS OF CARE IN COMBATING WEEDS ON CORN SEEDS

Tarchokov Kh.Sh., Tutukova D.A., Dugarliev R.M. 27

Earth sciences (25.00.00)

ARTICLES

MODEL DEVELOPMENT OF MULTIFUNCTIONAL AREAS FROM THE PERSPECTIVE OF A TECHNOLOGICAL BREAKTHROUGH

Gataullin R.F., Safiullin R.G. 34

PECULIARITIES OF THE DEVELOPMENT OF THE SCIENTIFIC BASES OF RATIONAL LAND USE IN THE STEPPE AND FOREST-STEPPE REGIONS OF RUSSIA IN THE XVIII CENTURY – THE FIRST HALF OF THE XIX CENTURY

Grosheva O.A. 39

INVENTORY AND THE ASSESSMENT OF THE TOURIST-RECREACTIONAL RESOURCES OF GUADELOUPE WITH GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Ivanova A.A., Astashin A.E., Arakcheeva O.V. 45

BIOLEACHING OF NICKEL, COPPER AND COBALT FROM ORE IRRADIATED WITH MICROWAVE RADIATION

Kioresku A.V. 51

EXAMINATION OF TERRITORIAL DIFFERENCES IN CONCENTRATIONS OF EASILY MOBILE FORMS OF PRIORITY ECOTOXICANTS IN URBANOZEMS OF NIZHNY NOVGOROD CITY AND ANALYSIS THEIR INTEGRAL TOXICITY

Kozlov A.V., Uromova I.P. 57

RECREATIONAL FRAMING OF BELGOROD CITY

Koroleva I.S. 63

SPATIAL DISTRIBUTION OF COPPER, VANADIUM, NICKEL AND LEAD IN THE SOILS OF MONCHEGORSK

Kotova E.I., Kuznetsova I.A., Kryauchyunas V.V., Iglovskiy S.A., Mironenko K.A., Bedrina D.D. 70

PHYSIOLOGICAL-BIOCHEMICAL PROPERTIES AND POTENTIAL ENZYMATIC ACTIVITY OF HETEROTROPHIC BACTERIA, ISOLATED FROM THERMAL WATERS AND MICROBIAL MATS OF THE KULDUR DEPOSIT

Lebedeva E.G., Kharitonova N.A. *77*

GEOGRAPHICAL DEMARCATION OF SACRAL LANDSCAPES OF YAKUTIA

Lukina O.R., Pakhomova L.S. *83*

WAVELET ANALYSIS OF LATITUDE DISTRIBUTION AT CHARACTERISTIC POINTS OF THE LONGITUDINAL PROFILE OF THE CHANNEL OF THE SMALL RIVER IROVKA

Mazurkin P.M., Georgieva Ya.O. *89*

LATE PHASE OF ATLANTIC PERIOD OF THE HOLOCENE IN SOUTHERN PRIMORYE (RUSSIAN FAR EAST)

Mikishin Yu.A., Petrenko T.I., Gvozdeva I.G. *96*

NEW DATA ON THE AGE AND MATERIAL COMPOSITION OF THE KARA-OS PERIDOTITE-PYROXENITE-GABBRONORITE MASSIF (TUVA)

Mongush A.A. *108*

THE TERRITORIAL REGULARITIES AND STABILITY OF POPULATION SETTLEMENT IN THE RIVERS` CATCHMENTS OF THE STEPPE VOLGA AND SOUTHERN URALS REGIONS

Padalko Yu.A. *116*

FEATURES OF ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN THE SOIL COVER OF THE ROAD TERRITORY ON THE EXAMPLE OF THE SUDOGODSKIY DISTRICT OF THE VLADIMIR REGION

Ragimov A.O., Mazirov M.A., Shenterova E.M., Zunimaymayti A. *122*

MICROSCOPIC CHARCOAL FRAGMENTS IN PEAT DEPOSITS AS AN INDICATOR OF THE FREQUENCY AND INTENSITY OF FIRE ON THE EXAMPLE OF TRANSBAIKAL PEAT

Reshetova S.A. *128*

MODELING GEOTEMPERATURE FIELD AND THICKNESS OF CRYOGENIC ROCKS IN THE VILYUY SYNECLYSE

Rozhin I.I., Argunova K.K. *134*

MORPHOGENETIC ROLE OF CLIMATE IN THE DEVELOPMENT OF NATURAL ZONES AND PROVINCES OF THE FAR EAST

Skrylnik G.P. *140*

GPR DATA INTERPRETATION FOR DETERMINATION OF THE FRACTURED ZONE OF THE FROZEN ROCK MASSIF

Sokolov K.O. *150*

THE INFLUENCE OF NATURAL AND HISTORICAL AND CULTURAL RESOURCE FACTORS ON THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF TOURIST AND RECREATIONAL CLUSTERS (BY THE EXAMPLE OF MUNICIPALITIES OF THE RESORT CITY OF ANAPA AND THE CITY OF NOVOROSSIYSK)

Sukhov R.I. *156*

ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN SOILS AND HALOPHYTES ON INTERTIDAL ZONE OF THE WHITE SEA

Terebova E.N., Markovskaya E.F., Oreshnikova N.V., Taskina K.B., Androsova V.I. *162*

CHARACTERISTIC OF TERRITORIAL PERCEPTION OF TOURIST RESOURCES IN THE SOCIO-CULTURAL SPACE OF TYUMEN

Tretyakova O.V., Sozonova E.Yu. 170

BIOLEACHING OF SULFIDE COBALT-COPPER-NICKEL ORE USING THE STANDARD AND MODIFIED 9K MEDIA

Khaynasova T.S. 175

NON-SPECIFIC ORGANIC SUBSTANCES OF FOREST-STEPPE AND STEPPE SOILS OF TRANSBAIKALIA

Chimitdorzhieva E.O., Chimitdorzhieva G.D., Tsybenov Yu.B., Milkheev E.Yu., Egorova R.A. 181

REVIEWS

BIOTECHNOLOGICAL METHOD OF COAL PROCESSING: DIRECTIONS AND PROSPECTS

Saryglar Ch.A., Chysyma R.B. 186

СТАТЬИ

УДК 630*236.4:633.877.3(571.15)

ПРИЧИНЫ НИЗКОЙ ПРИЖИВАЕМОСТИ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ В ЛЕНТОЧНЫХ БОРАХ АЛТАЯ

Гоф А.А., Жигулин Е.В., Залесов С.В.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург, e-mail: Zalesov@usfeu.ru

В последние годы все шире при создании лесных культур используется посадочный материал с закрытой корневой системой. Накопление производственного опыта показало, что приживаемость лесных культур, созданных сеянцами с закрытой корневой системой в таежной зоне, выше таковой при использовании посадочного материала с открытой корневой системой. Однако создание лесных культур на гарях в южной части ленточных боров Алтайского края показало другие результаты. Здесь использование сенцев с закрытой корневой системой даёт близкие показатели приживаемости. Обследование показало, что главной причиной низкой приживаемости сеянцев с закрытой корневой системой является загиб стержневого корня из-за недостаточной глубины ячейки. В результате при высаживании сеянцев на лесокультурную площадь корни развиваются не вглубь почвы, а параллельно ее поверхности. В то же время в сухих лесорастительных условиях ленточных боров в первой половине лета наблюдается иссушение почвы до уровня влажности завядания на глубину до 20 см. Последнее приводит к гибели сеянцев, корни которых находятся ближе 20 см к поверхности почвы. У сеянцев с открытой корневой системой стержневой корень, напротив, растет вниз и достигает глубины поднятия капиллярной влаги. Повышению приживаемости также способствует заглубленная посадка в дно борозд, проложенных плугом ПКЛ-70. У сеянцев с открытой корневой системой стержневой корень, напротив, растет вниз и достигает глубины поднятия капиллярной влаги. Повышению приживаемости также способствует заглубленная посадка в дно борозд, проложенных плугом ПКЛ-70. Для повышения приживаемости и сохранности лесных культур необходимо увеличить глубину ячейки в кассете при выращивании сеянцев с закрытой корневой системой, а также строго соблюдать технологию посадки лесных культур, запретив использование механизированной посадки и меча Колесова.

Ключевые слова: ленточные боры Алтая, лесовозобновление, лесные культуры, сеянец, закрытая корневая система, приживаемость

REASONS OF LOW SURVIVAL RATE OF COMMON PINE SEEDLINGS WITH A CLOSED ROOT SYSTEM IN ALTAY STRIP-PINE FORESTS

Gof A.A., Zhigulin E.V., Zalesov S.V.

Federal State Autonomous Educational of Higher Education «Ural State Forestry University», Ekaterinburg, e-mail: Zalesov@usfeu.ru

In recent years planting material with a closed root system has been used to create forest cultures. Accumulation of production experience has shown that survival rate of forest cultures, created by seedlings with a closed zoot system in Taiga zone is higher than that when using planting material with open root system. However, creation of forest cultures on burned forests in the Southern part of strip-pine forests in Altay region has shown that seedlings with a closed root system has no survival advantages in this area. Researches has shown that the main reason for low survival rate is tap root bending, caused by insufficient cell depth. As a result, when seedling are planted in forest cultural area, roots do not develop in depth, but remain parallel to the surface. At the same time in dry forest conditions of strip pine forests in the first half of summer it is observed that soil is dried up to wilting moisture level to a depth of 20 cm. The latter results in death of seedling roots, which are closer than 20 cm to the soil surface. In seedlings with open root system, the core root, on the contrary, grows down and reaches the depth of raising capillary moisture. The survival rate is also facilitated by a recessed landing in the bottom of the furrows, laid by a PKL-70 plow. In seedlings with an open root system, the core root, on the contrary, grows down and reaches the depth of raising capillary moisture. The survival rate is also facilitated by a recessed landing in the bottom of the furrows laid by a PKL-70 plow. To increase the survival rate and preserve forest cultures it is necessary to increase the depth of cells in a cassette when growing seedlings with a closed root system as well as strictly observe forest planting technology by banning mechanized planting and sword of Kolesov.

Keywords: belt forests of the Altai, reforestation, forest cultures, seedling, closed root system, survival rate

Из способов лесовосстановления наиболее надежным является искусственный. Данный способ позволяет в кратчайшие сроки создать искусственные насаждения желательного состава даже на нарушенных рекультивируемых землях [1] или там, где лес ранее не произрастал. При этом не следует забывать, что при правильном подборе главной (главных) пород искусственные насаждения нередко превосходят естественные по производительности [2].

В то же время создание качественных лесных культур невозможно без наличия достаточного количества стандартного посадочного материала. В нашей стране накоплен значительный опыт выращивания

посадочного материала с открытой корневой системой. Создание лесных культур данным посадочным материалом, при условии строгого соблюдения правил его выкопки, транспортировки, хранения, а также сроков посадки обеспечивает хорошую приживаемость. Однако при больших планируемых объемах лесовосстановления выдержать сроки посадки лесных культур довольно сложно, даже при условии широкого применения механизации работ [3].

Проблема может быть снята применением сеянцев с закрытой корневой системой (ЗКС). Использование указанных сеянцев обеспечивает возможность создания лесных культур практически в течение всего весенне-летне-осеннего периода. Ограничением для посадки является лишь промерзание почвы.

Особо следует отметить, что наличие питательных веществ в брикете, при использовании сеянцев с ЗКС приводит к тому, что корни сеянца не стремятся развиваться в малообеспеченных питательными элементами слоях бедных песчаных почв. При создании лесных культур в условиях юга ленточных боров Алтайского края зафиксирован значительный отпад сеянцев с ЗКС уже в первый год после посадки [4]. Последнее потребовало более детального изучения данного вопроса.

Цель исследований: изучение причин низкой приживаемости лесных культур, созданных сеянцами сосны с ЗКС, и разработка на этой основе предложений по повышению эффективности лесокультурного производства.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в лесных культурах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), созданных однолетними сеянцами с ЗКС в Озеро-Кузнецовском лесничестве Управления лесами Алтайского края главного управления природных ресурсов и экологии Алтайского края. Согласно действующим нормативным документам [5], территория района исследований относится к Алтае-Новосибирскому району лесостепей и ленточных боров.

Климат района исследований резко континентальный. Для него характерен недостаток осадков, высокие летние и низкие зимние температуры, а также поздние весенние и ранние осенние заморозки. Картина усугубляется наблюдающимися с мая по сентябрь суховеями и высокой температурой на поверхности почвы, которая нередко достигает 57 °С.

Высокие температуры на поверхности почвы и сильные ветра в мае – июне, при отсутствии или крайне незначительном количестве осадков, приводят к интенсивному испарению влаги с поверхности почвы. В результате поверхностный слой песчаных почв сильно иссушается и растения испытывают физическую сухость.

Культуры были созданы в разные годы на гари общей площадью 17334 га, образовавшейся после катастрофических лесных пожаров 1997 г. Исследовались лесные культуры сосны обыкновенной разных лет. Помимо определения приживаемости и сохранности лесных культур, выполненных по общепринятым апробированным методикам [6], нами выкапывались погибшие сеянцы с целью установления причин их отмирания, а также сеянцы, сохранившие жизнеспособность, с целью выяснения развития их корневых систем. Всего было выкопано и обследовано 368 сеянцев разного возраста. Статистическая обработка материала выполнялась в соответствии с методическими рекомендациями Г.Н. Зайцева [7].

При выращивании сеянцев с закрытой корневой системой (ЗКС) в лесном селекционно-семеноводческом центре Алтайского края используются кассеты BCC Side Slit. Указанные кассеты имеют внешние габариты 38,5×38,5×8,5 см, что позволяет включать 81 ячейку размером 4,1×4,1×8,5 см при объёме 100 см^3 каждая.

Использование кассет BCC Side Slit позволяет на 1 м^2 полезной площади выращивать 546 сеянцев. Как положительный показатель указанных кассет следует отметить, что они имеют вертикальные щели и направляющие ребра в стенках ячеек. Последнее обеспечивает естественное развитие корней на начальном этапе лесовыращивания. Боковые щели обеспечивают доступ кислорода внутрь торфяного брикета, выполняют роль дренажа при чрезмерном поливе и способствуют развитию активных корневых окончаний.

Результаты исследования и их обсуждение

Главный недостаток кассет BCC Side Slit при выращивании сосны обыкновенной заключается в том, что стержневой корень, достигая дна ячейки, меняет направление и закручивается в торфяном субстрате, заполняющем ячейку. При высаживании таких сеянцев на лесокультурную площадь наблюдается развитие не стержневого корня внутрь почвы, то есть в направлении

расположения грунтовых вод, а в горизонтальном направлении параллельно поверхности почвы (рис. 1). Указанный процесс прослеживается и в последующие годы (рис. 2). Указанное вызывает ряд опасений. Так, в частности, при поверхностном размещении корневых систем снижается устойчивость формируемых насаждений против засух, поскольку всасывающие корни не достигают глубины залегания грунтовых вод. При длительных засухах, которые имеют место в районе исследований, древостой с поверхностной корневой системой может погибнуть полностью, что происходит в сосняках Казахского мелкосопочника.

Кроме того, деревья с поверхностной корневой системой менее устойчивы против ветровых нагрузок, что может вызвать в будущем ветровал.

Исследованиями Л.П. Баранника, В.И. Заболоцкого и Я.Н. Ишутина [8] установлено, что в сухих лесорастительных условиях ленточных боров Алтайского края иссушение почвы до уровня влажности завядания в большинстве случаев происходит на глубину до 20 см. При высаживании сеянцев с открытой корневой системой стержневой корень после посадки начинает интенсивно расти вниз и достигает глубины 25 см, т.е. уровня поднятия капиллярной влаги. Последнему способствует заглубленная посадка сеянцев в дно плужных борозд, проложенных плугом ПКЛ-70.

При высаживании сеянцев с закрытой корневой системой в аналогичных условиях их корневая система, как было отмечено ранее, развивается в горизонтальном направлении параллельно поверхности почвы. В таежных условиях это не является недостатком по причине наличия влаги в верхних горизонтах почвы. Напротив, при выращивании крупномерного посадочного материала, при пересадке сеянцев из посевного в школьное отделение окончание стержневого корня обрубается острым топором, что способствует развитию в будущем компактной корневой системы [9] и улучшению приживаемости саженцев при их посадке на лесокультурную площадь.

У сеянцев с закрытой корневой системой также хорошо развита корневая система, что и обеспечивает при правильной посадке в условиях таёжной зоны почти 100% приживаемость. Указанное нашло отражение в нормативных документах [10], где отмечается, что количество высаживаемых на лесокультурную площадь сеянцев может быть сокращено до 2,0 тыс. шт/га.

В сухих условиях ленточных боров Алтая высаженные сеянцы с закрытой корневой системой не достигают уровня капиллярного подъёма влаги в песчаной почве, чем и объясняется их массовое отмирание.

Картина усугубляется тем, что при посадке сеянцев с ЗКС нередко нарушается технология посадки. В частности, при посадке вместо посадочной трубы используется меч Колесова или посадка производится лесопосадочной машиной, предназначенной для посадки сеянцев с открытой корневой системой. В том и другом случае под высаженным брикетом образуется воздушный карман, что исключает заглубление стержневого корня и сеянец погибает.

Рис. 1. Корневые системы саженцев с закрытой корневой системой спустя 3 месяца после посадки на лесокультурную площадь

Рис. 2. Развитие горизонтальных корней в лесных культурах, созданных сеянцами с закрытой корневой системой

На наш взгляд, для повышения приживаемости лесных культур, создаваемых сеянцами с закрытой корневой системой, следует стремиться не к увеличению объёма ячеек, в которых они выращиваются, а к увеличению глубины ячеек. Последнее увеличивает шансы сохранения стержневого корня и его вертикального положения. Так, в частности, использование кассет Plantek 64 FD позволяет выращивать на 1 м^2 полезной площади 434 сеянца. Кассета содержит 64 ячейки при общем размере 38,5×38,5×11,0 см. При среднем объеме ячейки 128 см^3 длина стержневого корня сеянцев в ней без искривления составляет 11 см при 8,5 см в кассетах BCC Side Slit.

Аналогичную с кассетами Plantek 64 FD глубину ячеек имеют также отечественные кассеты К-64 ФД, изготовляемые ООО «Альянсэкопром».

Требования к посадочному материалу для лесовосстановления и лесоразведения в Алтае-Новосибирском районе лесостепей и ленточных боров, куда входит район проведения исследований [8], пока не разработаны, а для Западно-Сибирского подтаежного-лесостепного района они были установлены Приказом Минприроды России от 25.03.2019 г. № 188 «Об утверждении Правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений» (таблица).

Выращивание посадочного материала с ЗКС обеспечивает достижение сеянцами стандартных размеров за один сезон лесовыращивания. Кроме того, следует учитывать, что непосредственно в теплице посадочный материал находится лишь 1,5–2 месяца, что позволяет планировать выращивание 3–4 ротаций ежегодно.

Главным достоинством сеянцев с закрытой корневой системой является возможность создания искусственных насаждений в течение всего периода года, когда почва находится в незамерзшем состоянии. Сеянцы с открытой корневой системой в районе исследований позволяют обеспечить хорошую приживаемость лесных культур сосны обыкновенной только при условии ранней посадки (сразу после оттаивания почвы) и до начала роста центрального побега. При огромных площадях гарей, требующих искусственного лесовосстановления, выполнить посадки сеянцев с открытой корневой системой не представляется возможным. В данном случае создание лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой позволяет решить задачу искусственного лесовосстановления. Особо следует отметить, что сеянцы, у которых корни развиваются вниз, а не горизонтально поверхности почвы, характеризуются хорошим ростом (рис. 3).

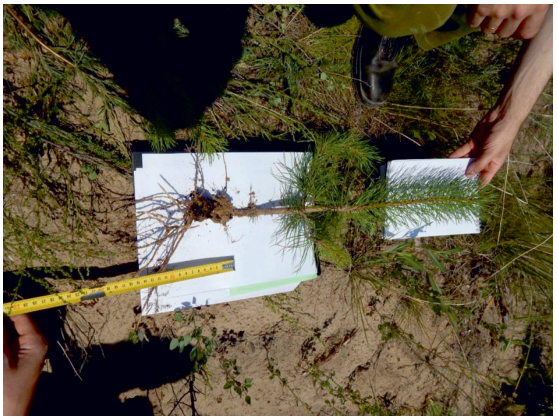


Рис. 3. Сеянец с закрытой корневой системой без загиба стержневого корня

При увеличении глубины ячеек и решении вопросов транспортировки посадочного материала с ЗКС до лесокультурной площади, а также соблюдении технологии посадки он может найти широкое применение в лесокультурном производстве.

Требования к посадочному материалу

Древесная порода	Требования к сеянцам		
	Возраст, лет	Диаметр стволика у корневой шейки на менее, мм	Высота стволика не менее, см
Сосна обыкновенная	2–3	2,5	12
Лиственница сибирская	2	2,5	15
Береза повислая	2	2,5	15
Ель сибирская	3–4	2,0	12
Сосна кедровая сибирская	3–4	3,0	10

Выводы

1. Использование сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой при создании лесных культур на юго-западе ленточных боров Алтайского края не обеспечивает их 100 % приживаемость.

2. При выращивании посадочного материала в кассетах BCC Side Slit с размером ячеек 4,1×4,1×8,5 см наблюдается загиб стержневого корня в торфяной смеси из-за недостаточной глубины ячейки.

3. После высаживания указанных сеянцев на лесокультурную площадь они развивают не стержневой корень, а систему горизонтальных корней. На сухих песчаных почвах ленточных боров Алтая влажность верхнего 20 см слоя почвы снижается до уровня влажности завядания, что и приводит к гибели сеянцев, не достигших корнями уровня капиллярной влаги.

4. Дополнительной причиной низкой приживаемости лесных культур, создаваемых сеянцами с ЗКС, является несоблюдение технологии посадки. В частности, сеянцы с ЗКС высаживаются лесопосадочной машиной, созданной для посадки сеянцев с открытой корневой системой или под меч Колесова.

5. В целях повышения приживаемости лесных культур, создаваемых сеянцами с ЗКС, следует увеличить глубину ячеек при выращивании и обеспечить посадку сеянцев только с использованием лесопосадочной трубы.

6. Учитывая специфику лесорастительных условий ленточных боров, посадку саженцев следует производить в дно плужных борозд, проложенных плугом ПКЛ-70.

Список литературы / References

1. Залесов С.В., Залесова Е.С., Зверев А.А., Оплетаев А.С., Терин А.А. Формирование искусственных насаждений на золоотвале Рефтинской ГРЭС // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2013. № 2 (332). С. 66–73.

Zalesov S.V., Zalesova E.S., Zverev A.A., Opletaev A.S., Terin A.A. The Method of Growing Artificial Pine Stands at the Ash Dumps of the Reftinskaya Power Plant // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal. 2013. № 2 (332). P. 66–73 (in Russian).

2. Залесов С.В., Лобанов А.Н., Луганский Н.А. Рост и продуктивность сосняков искусственного и естественного происхождения. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. 112 с.

Zalesov S.V., Lobanov A.N., Lugansky N.A. The growth and productivity of pine forests of artificial and natural origin. Yekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2002. 112 p. (in Russian).

3. Иванюшева Г.И., Казаков В.И., Калякин А.Б., Лобанова Е.Н., Межибовский А.Н., Пентелькина Н.В., Проказин Н.Е., Родин С.А., Румянцева С.А., Рыбальченко Н.Г., Суворов В.И. Технологическое обеспечение работ по лесовосстановлению. Пушкино: ВНИИЛМ, 2012. 212 с.

Ivanyusheva G.I., Kazakov V.I., Kalyakin A.B., Lobanova E.N., Mezhibovsky A.M., Pentelkina N.V., Prokazin N.E., Rodin S.A., Rumyantseva S.A., Rybalchenko N.G., Suvorov V.I. Technological support of reforestation works. Pushkino: VNIILM, 2012. 221 p. (in Russian).

4. Ананьев Е.М. Причины низкой приживаемости лесных культур, созданных сеянцами с закрытой корневой системой // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2017. № 49. С. 58–62.

Ananyev E.M. Reasons for the low survival rate of forest crops created by seedlings with a closed root system // Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa. 2017. № 49. P. 58–62 (in Russian).

5. О внесении изменений в приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 18.08.2014 г. № 367 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации»: Утв. Приказом Минприроды России от 19.02.2019 г. № 105. [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/542643290 (дата обращения: 18.11.2019).

On amendments to the order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation of August 18, 2014 No. 367 «On approval of the List of forest growing zones of the Russian Federation and the List of forest regions of the Russian Federation»: Approved. By order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated February 19, 2019 № 105. [Electronic resource]. URL: http://docs.cntd.ru/document/542643290 (date of access: 18.11.2019) (in Russian).

6. Огиевский В.В., Хиров А.А. Обследование и исследование лесных культур (методическое пособие для лесоводов). М.: Лесная промышленность, 1964. 51 с.

Ogievsky V.V., Khirov A.A. Inspection and study of forest crops (a manual for foresters). M.: Lesnaya promyshlennost', 1964. 51 p. (in Russian).

7. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.

Zaytsev G.N. Mathematical statistics in experimental botany. M.: Nauka, 1984. 424 p. (in Russian).

8. Баранник Л.П., Заболоцкий В.И., Ишутин Я.Н. Лесовосстановление на крупноплощадных гарях в ленточных борах Алтайского края: рекомендации. Барнаул: АГАУ, 2005. 16 с.

Barannik L.P., Zabolotsky V.I., Ishutin Y.N. Reforestation on large-scale burnt areas in the tape forests of the Altai Territory: recommendations. Barnaul: AGAU, 2005. 16 p. (in Russian).

9. Фрейберг И.А., Залесов С.В., Терин А.А. Совершенствование технологии восстановления хвойных насаждений // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. [Электронный ресурс]. URL: www science-education.ru/111-10263 (дата обращения: 18.11.2019).

Freiberg I.A., Zalesov S.V., Terin A.A. Perfection of coniferous stocking rehabilitation technology // Modern problems of science and education. 2013. № 5. [Electronic resource]. URL: www science-education.ru/111-10263 (date of access: 18.11.2019) (in Russian).

10. Правила лесовосстановления. Утверждены Приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 25.03.2019 г. № 188. [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/554151577 (дата обращения: 18.11.2019).

Rules for reforestation. Approved by Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation of March 25, 2019 № 188. [Electronic resource]. URL: http://docs.cntd.ru/document/554151577 (date of access: 18.11.2019) (in Russian).

УДК 630*53:630*546:633.877

КЛАССИФИКАЦИЯ ОСОБЕЙ В ХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ ЕСТЕСТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ ИЗМЕНЧИВОСТИ

Николаева И.О., Соловьев В.М.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург, e-mail: Nikolaevaio@m.usfeu.ru

Исследована степень изменчивости особей в насаждении и структура хвойных насаждений естественного генезиса. При изучении хвойных насаждений использовался способ классификации особей в древостое по положению внутри биогруппы совместного произрастания и росту. Подсчет особей в насаждении по классам относительного положения, а также их классификация учитывает многосторонний анализ экологического компонента лесных сообществ, что в свою очередь приводит к установлению совершенно иных особенностей рубок, при которых поменяются принципы отбора оставляемых на доращивание, а кроме того и вырубаемых особей в древостое, что в свою очередь зависит от лесоводственно-экологической ориентированности лесохозяйственных мероприятий в соответствии с категориями лесов. На примере густых 40-летних насаждений сосны обыкновенной в Верхотурском лесничестве Свердловской области (58°49' с.ш., 60°55' в.г.) был рассмотрен потенциал использования указанной систематизации насаждений в целях оценки изменчивости особей в насаждении а также их структуры. В насаждении в целом распределение особей характеризуется асимметричным распределением в соответствии с относительными ступенями толщины в основном за счет отстающих в росте деревьев. Структура исследуемых насаждений в соответствии с классами относительного расположения (I–V) изучена с применением способа редукционных чисел, т.е. согласно условным значениям показателя в соответствии с рангом. Применение способа условных значений показателя согласно рангам с учетом распределения особей в насаждении согласно диаметру, дает возможность обнаруживать структуру насаждений по абсолютно всем лесоводственно-таксационным данным одновременно, что значительно определяет данный способ выше, нежели способ распределения особей в соответствии с рядами. Применение способа распределения особей согласно условному расположению в насаждении, а также способа редукционных чисел согласно рангам в комплексе (системный способ анализа насаждений) гарантирует обнаружение отличительных черт структуры лесных насаждений, что способно содействовать в улучшении лесоводственно-экологической эффективности лесохозяйственных мероприятий в насаждениях.

Ключевые слова: изменчивость особей, оценка таксационных показателей, хвойные насаждения, рост древостоев, редукционные числа, структура насаждений, Средний Урал, Свердловская область

CLASSIFYING SPECIMEN WITHIN CONIFEROUS PLANTATIONS OF NATURAL ORIGIN IN ORDER TO ASSESS THEIR VARIABILITY

Nikolaeva I.O., Solovev V.M.

Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, e-mail: Nikolaevaio@m.usfeu.ru

The degree of specimen variability in standings and structure of coniferous standings of natural genesis has been studied. While studying coniferous standings, we used the method of classifying specimen in tree standings according to their position within biogroup of mutual growing and their height. Calculating specimen within standings according to class of relative location and their classification considers multi-dimensional analysis of ecologic component of forest societies that leads to establishment of completely different principles of cutting that imply selection of specimen, left for growing, as well as cut trees, and it depends upon ecologic direction of forestry enterprises according to categories of forests. At the example of dense 40-year standings of ordinary pine in Verkhoturskiy forestry of Sverdlovsk region (58°49'N, 60°55'E) we studied potential of facilitating the presented systematization of standings in order to evaluate variability of specimen within standings as well as their structure. Within standings on the whole distribution of specimen is defined by assymetrical distribution in accordance with relative degrees of width, mainly due to trees, lagging in growth. Structure of the studied standings in correspondence to classes of relative location (I-V) was studied via method of reduction numbers, in other words, in accordance with conditional values of indexes in accordance to their rank. Implementing method of conditional values of index according to rank and considering distribution of species within standings according to their diameter allows us to discover structure of standings at the foundation of all forestry-taxation data simultaneously, and is defines this method as more preferable than method of distributing specimen in accordance with rows. Implementing method of specimen distribution according to their conditional location within standings as well as method of reduction numbers according to ranks in complex (system analysis of standings) guarantees revelation of distinctive characteristics in structure of forest standings, and it can assist us in improvement of forestry-ecological efficiency of forest management measures within standings.

Keywords: specimen variability, assessment of taxation indicators, coniferous standings, growth of standings, reduction numbers, structure of standings, Middle Urals, Sverdlovsk region

Изменчивость особей в насаждениях при совокупном произрастании в достаточной мере не исследована [1]. Это связано с трудностями выполнения продолжительных непрерывных исследований за определенными насаждениями, а также недостаточной изученностью параметров возобновления, структуры, а также разви-

тия насаждений на первоначальных этапах существования [2]. При этом следует отметить, что изменчивость особей в древостое может быть максимально подробно описана при использовании классификации деревьев по условному расположению, состоянию а также росту. Однако в регламентирующих документах по ведению лесного хозяйства [3–5] и проведению лесоустроительных работ [6], таксация насаждений при проведении рубок ухода предусматривает лишь разделение особей в насаждении на нежелательные, вспомогательные, а также лучшие, без учета специфики определенных насаждений в части пространственной структуры. Если принять во внимание то, что все без исключения особи в насаждении имеют устойчивое ранговое положение в группах совместного произрастания с момента формирования [7], а характеристики и свойства каждой особи сопряжены с их расположением по отношению к другим деревьям в биогруппах [8], то следует учитывать, что при рубках ухода рациональнее будет разделять особи в насаждении на классы по вертикальному положению (I–V) и на подклассы (а, б, в) по горизонтальному положению (рис. 1). При этом оценку состояния древесных растений рекомендовано осуществлять согласно уровню их межиндивидуальной а также эндогенной дифференциации [9].

При проведении перечета деревьев в насаждении производится учет особей по состоянию с разделением на жизнеспособные (Ж), сомнительные (С), отмирающие (О) и умершие (М) [10], а также по общепризнанным категориям.

Учет особей в насаждении по указанной методике и применение способов классификации предусматривает всестороннее рассмотрение экологической составляющей лесных сообществ, что, в свою очередь, приводит к установлению иных характеристик рубок, при которых изменятся правила отбора оставляемых, а также вырубаемых особей в насаждении, что зависит от лесоводственно-экологической направленности рубок ухода по категориям лесов, а интенсивность изреживания в пределах установленных нормативов снижения полноты, от размеров особей и их количества в насаждении по установленным классам, а также подклассам.

Применение вышеизложенных методов оценки лесных насаждений позволит улучшить правила отбора деревьев в рубку при проведении рубок ухода за лесом, что в свою очередь позволит производить разделение особей внутри группы совместного произрастания по размерам и положению в пологе древостоя, что непосредственно улучшит лесоводственно-экологическую эффективность лесохозяйственных мероприятий, а также обеспечит контроль за проведением рубок ухода без клеймения деревьев, что приведет к уменьшению затрат на проведение отвода и таксации лесосек.

Применение классификации особей в насаждении согласно их росту, а также положения в пологе древостоя при проведении рубок ухода позволит повысить эффективность лесохозяйственных мероприятий как в экологическом, так и экономическом аспекте.

Цель исследования: изучение степени изменчивости особей в древостое, а также структуры хвойных насаждений естественного генезиса большой густоты. Основными задачами исследования было изучение изменчивости особей методом классификации деревьев по положению внутри биогруппы совместного произрастания, изучение распределения особей по росту и проведение анализа структуры насаждении по количественным признакам особей и рангам редукционных чисел.

Материалы и методы исследования

Оценка изменчивости особей в древостое осуществлялась на основе изучения формы распределения вариационного ряда [9] по коэффициентам изменчивости а также дифференциации с учетом амплитуд редукционных чисел согласно рангам [7], а также рассмотрением степени асимметрии рядов и графиков распределения особей в соответствии с относительными ступенями толщины и по условным средним значениям. Данная методика оценки по относительному положению особей в насаждении была применена вместе с методом редукционных чисел по рангам.

На примере данных сплошного перечета деревьев сосны обыкновенной в насаждений Верхотурского лесничества Свердловской области, характеризующихся большой густотой в возрасте 40 лет, рассмотрена возможность применения классификации насаждений для оценки изменчивости особей в древостое и их структуры. Густые насаждения проявляются высокой изменчивостью особей в древостое, при этом признаки особей различных классов и подклассов в целом для насаждения, так и для хвойных молодняков способны быть эталонами для сравнительного анализа.

Схематическая характеристика разделения особей в насаждении согласно относительного положения на классы и подклассы показана на рис. 1.

Результаты исследования и их обсуждение

Разделение особей сосны в насаждении показано на рис. 2, а показатели статистических данных по относительному положению в пределах каждого класса и всего насаждения в целом в табл. 1.

Разделение особей в насаждении по условным ступеням толщины характеризуется асимметричным распределением, что в основном проявляется за счет отстающих в росте деревьев. При этом распределение особей II класса аналогично распределению деревьев всего насаждения, но следует отметить, что положительные меры косости так же сходны при значительной в 2 раза меньшей мерой крутости, чем у всех особей насаждения.

Разделение особей в насаждении по I–V классам хорошо распределяется от первого класса к пятому при логическом изменении разделения особей в древостое согласно положению рядов, при смещении максимумов числа особей в насаждении.

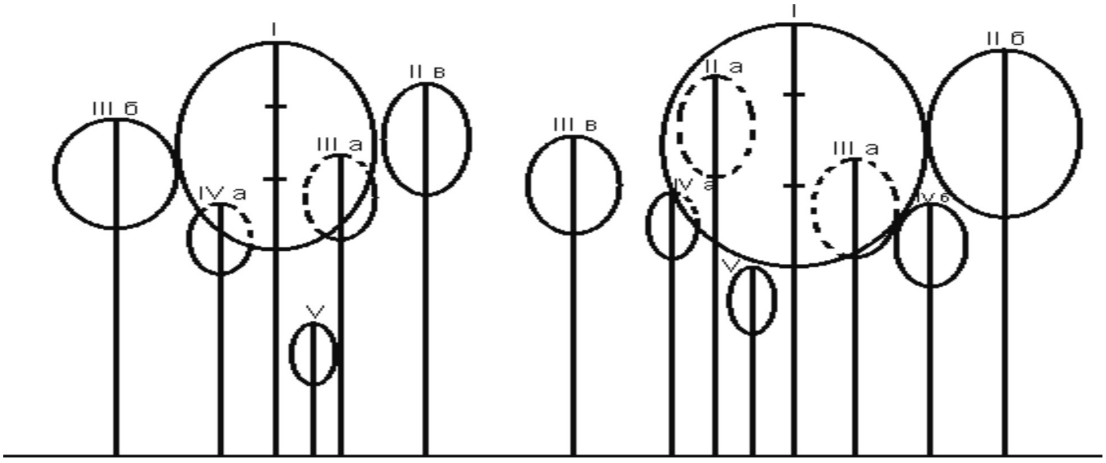


Рис. 1. Схема разделения особей в насаждении по относительному положению на классы и подклассы

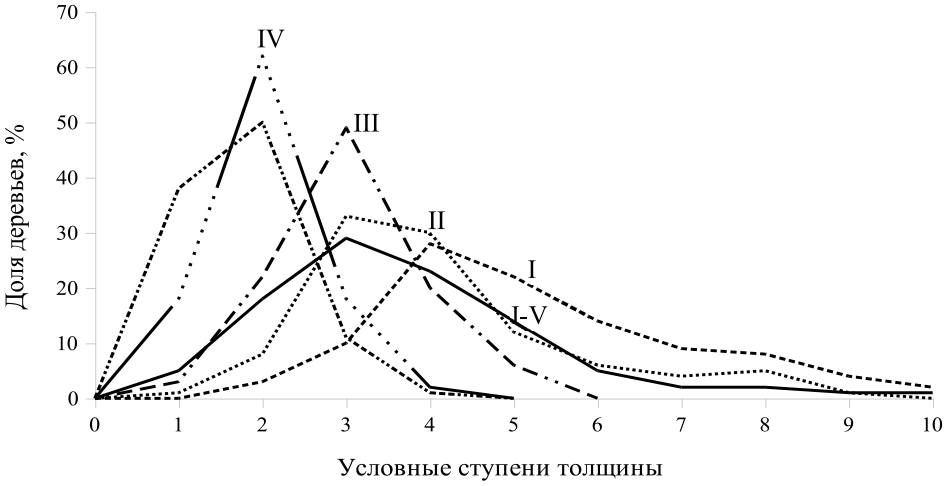


Рис. 2. Графики разделения особей сосны в насаждении по классам относительного положения (I, II, III, IV, V) и древостоя в целом (I–V) по условным ступеням толщины

Таблица 1

Статистические данные рядов разделения особей сосны по классам относительного положения в насаждении

Классы относительного положения	Значения по показателям							
	средние значения, см			коэффициенты		Точность опыта, %	меры	
	действительные, Xd	условные, Xy	основное отклонение, σ	Изменчивости, V, %	Дифференциации, Vd, %		косости	крутости
I–V	18,5 ± 0,171	25,5	4,1	21,9	16,7	0,9	1,15 ± 0,103	1,99 ± 0,204
I	22,1 ± 0,399	29,6	4,3	19,5	15,8	1,8	0,62 ± 0,22	–0,16 ± 0,423
II	19,4 ± 0,358	25,8	3,7	19,3	13,9	1,8	1,07 ± 0,228	0,95 ± 0,438
III	16,9 ± 0,202	20,5	2,1	12,4	8,9	1,2	0,18 ± 0,229	0,02 ± 0,44
IV	14,5 ± 0,153	17,2	1,6	10,9	6,9	1,1	0,388 ± 0,228	0,33 ± 0,438
V	13,8 ± 0,151	16,6	1,6	11,8	10,2	1,1	0,526 ± 0,22	–0,12 ± 0,423

Таблица 2

Относительные и абсолютные значения показателей в 40-летних насаждениях сосны обыкновенной естественного происхождения по классам роста

Значения показателей деревьев		Показатели абсолютные (1) и относительные (2)								
		Диаметр ($d_{1,3}$), см		Ранги диаметров (r), %	Высота (h), м		Относительная высота ($h/d_{1,3}$)		Объем (V), м^3	
		1	2		1	2	1	2	1	2
min		10,8	0,584	0	12	0,727	1,111	1,246	0,055	0,259
средние по классам	I–V	18,5	1,000	68	16,5	1,000	0,892	1,000	0,212	1,000
	I	22,1	1,195	90	18,4	1,115	0,833	0,933	0,321	1,514
	II	19,4	1,049	76	17	1,030	0,876	0,983	0,258	1,217
	III	16,9	0,914	51	15,7	0,952	0,929	1,042	0,185	0,873
	IV	14,5	0,784	24	14,4	0,873	0,993	1,113	0,114	0,538
	V	13,8	0,746	18	14,1	0,855	1,022	1,146	0,109	0,514
max		34,8	1,881	100	24,5	1,485	0,704	0,789	0,872	4,113
Амплитуда значений		0,449			0,261		0,212		1,0	

Различия в распределении особей хорошо описываются условными средними показателями по классам (I, II, III, IV, V) которые составляют 29,6; 25,8; 20,5; 17,2; 16,6. Густые сосновые 40-летние насаждения отличаются высокими коэффициентами дифференциации и изменчивости особей в насаждении, которые составляют 17% и 22% соответственно.

При этом следует отметить что по всем классам (I, II, III, IV, V) они значительно меньше по сравнению с показателями во всем древостое. Значения показателей существенно снижаются от I к V классу. Меры крутости и косости по насаждению в целом (I–V) а также по (I, II, III, IV, V) классам положительны и достоверны (табл. 1).

Строение изучаемых насаждений по классам относительного положения (I–V) осуществлено с использованием метода редукционных чисел, т.е. по относительным значениям признака согласно рангов (табл. 2).

Использование метода относительных значений признака по рангам, с разделением особей в насаждении по диаметру, позволяет выявлять структуру насаждений по всем лесоводственно-таксационным характеристикам одновременно, что ставит этот метод существенно выше, чем метод распределения особей по рядам. При этом изменчивость особей в насаждении хорошо можно анализировать по значениям редукционных чисел и их амплитуд. При анализе амплитуд ярко выражается увеличение показателей постепенно от относительной высоты (h/d – 0,212), высоты (h – 0,261), диаметра (d – 0,449) и объема (V – 1,0).

Также необходимо учитывать, что при анализе структуры насаждений с использованием метода редукционных чисел по классам относительного положения и рангам, структура насаждений сопоставима только при использовании графического способа выражения относительных значений показателей при одинаковых значениях ранга особей.

Заключение

Структура густых сосновых насаждений естественного происхождения характеризуется высокой межиндивидуальной и эндогенной изменчивостью, а также асимметричным разделением особей в насаждении по ступеням толщины.

Использование условных ступеней толщины позволяет четко разделить особи в насаждении, в исследуемом древостое наблюдается закономерное смещение максимального количества особей в левую часть ряда распределения.

Использование метода распределения особей по относительному положению в насаждении и метода редукционных чисел по рангам в комплексе (системный способ анализа насаждений) обеспечивает выявление особенностей структуры лесных насаждений, что может способствовать улучшению лесоводственно-экологической эффективности лесохозяйственных мероприятий в насаждениях.

Полученные результаты хорошо отражают характеристики изменчивости особей в насаждении, а также структуру самих насаждений, что способствует широкому применению классификации особей в насаждении по относительному положению. Системный способ анализа насаждений позволяет проводить оценку структуры насаждений по количественным характеристикам особей согласно классам относительного положения, а также сравнение строения насаждений по рангам редукционных чисел средних показателей через графическое выражение структуры древостоев.

Учитывая высокую степень изменчивости особей в насаждениях, влияющих на формирование структуры древостоя, необходимо уделять большое внимание при таксации насаждений для проведения лесохозяйственных мероприятий.

Список литературы / References

1. Соловьев В.М. Методические основы изучения строения и формирования древостоев лесных экосистем // Леса России и хозяйство в них. 2015. № 1 (51). С. 38–40.

Solovyev V.M. Methodical bases of studying the structure and formation of forest ecosystems stands // Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh. 2015. № 1 (51). P. 38–40 (in Russian).

2. Санников С.Н., Петрова И.В., Санникова Н.С., Кочубей А.А., Санников Д.С. Дивергенция биогеоценозов в пределах типов сосновых лесов // Экология. 2017. № 4. С. 282–291. DOI: 10.7868/S036705971704014X.

Sannikov S.N., Petrova I.V., Sannikova N.S., Kochubey A.A., Sannikov D.S. Divergence of biogeocenoses within pine forests types. Russian Journal of Ecology. 2017. T. 48. № 4. P. 340–349. DOI: 10.1134/S1067413617040142.

3. Приказ Минприроды России № 626 от 22.11.2017 г. «Об утверждении правил ухода за лесами». [Электронный ресурс]. URL: https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minprirody-Rossii-ot-22.11.2017-N-626/ (дата обращения: 20.10.2019).

The Order of the Ministry of natural resources of Russia No. 626 of 22.11.2017 «On approval of the rules of forest care» [Electronic resource]. URL: https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minprirody-Rossii-ot-22.11.2017-N-626/ (date of access: 20.10.2019) (in Russian).

4. Приказ Рослесхоза № 337 от 01.08.2011 г. «Об утверждении правил заготовки древесины». [Электронный ресурс]. URL: https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rosleshoza-ot-01.08.2011-N-337/ (дата обращения: 26.10.2019).

Order of the Federal forestry Agency No. 337 of 01.08.2011 «On approval of the rules of timber harvesting» [Electronic resource.] URL: https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rosleshoza-ot-01.08.2011-N-337/(date of access: 26.10.2019) (in Russian).

5. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 474 от 13.09.2016 г. «Правила заготовки древесины и особенности заготовки древесины в лесничествах, лесопарках, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minprirody-Rossii-ot-13.09.2016-N-474/ (дата обращения: 20.10.2019).

The Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation No. 474 dated 13.08.2019. «Rules for the harvesting of wood and features of harvesting wood in forestries, forest parks specified in Article 23 of the Forest Code of the Russian Federation» [Electronic resource]. URL: https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minprirody-Rossii-ot-13.09.2016-N-474/ (date of access: 20.10.2019) (in Russian).

6. Приказ Минприроды России № 122 от 29.03.2018 г. «Об утверждении лесоустроительной инструкции» [Электронный ресурс]. URL: https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minprirody-Rossii-ot-29.03.2018-N-122/ (дата обращения: 20.10.2019).

Order of the Ministry of natural resources of Russia No. 122 of 29.03.2018 «on approval of forest management instructions» [Electronic resource]. URL: https://rulaws.ru/

acts/Prikaz-Minprirody-Rossii-ot-29.03.2018-N-122/ (date of access: 20.10.2019) (in Russian).

7. Маслаков Е.Л. Формирование сосновых молодняков. М.: Лесная промышленность, 1984. 166 с.

Maslakov E.L. Formation of pine young growth. M.: Lesnaya promyshlennost, 1984. 166 p. (in Russian).

8. Третьяков Н.В. Закон единства в строении насаждений. М.-Л.: Новая Деревня, 1927. 113 с.

Tretyakov N.V. The law of unity in the structure of plantations. M.-L.: Novaya Derevnya, 1927. 113 p. (in Russian).

9. Митропольский А.К. Элементы математической статистики: учебное пособие. Л., 1969. 69 с.

Mitropolsky A.K. Elements of mathematical statistics: textbook. L., 1969. 69 p. (in Russian).

10. Морозов А.М., Николаева И.О., Ушаков М.И. Особенности изучения в условиях таежной зоны состояния и структуры соснового подроста на вырубках и под пологом древостоев различных типов леса // Путь науки. 2014. № 10. С. 23–25.

Morozov A.M., Nikolaeva I.O., Ushakov M.I. Features of studying in the taiga zone conditions of the state and structure of pine undergrowth on felling site and under the canopy of forest stands of different forest types // Put' nauki. 2014. № 10. P. 23–25 (in Russian).

УДК 633.111.1:631.523.11:631.524.86:631.524.84

БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛИНИЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ С ГЕНАМИ *AGROPYRON ELONGATUM*, УСТОЙЧИВЫХ К СТЕБЛЕВОЙ РЖАВЧИНЕ

Плотникова Л.Я., Кузьмина С.П., Фризен Ю.В.

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Омск, e-mail: lplotnikova2010@yandex.ru

Актуальность работы связана с необходимостью создания сортов яровой мягкой пшеницы с зерном высокого качества за счет использования генетических ресурсов родственных видов злаков. Целью исследований было изучение интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы с генами пырея удлиненного *Agropyron elongatum* (Host) Beauv по признакам урожайности, качества зерна и устойчивости к стеблевой ржавчине в условиях лесостепной зоны Западной Сибири. Материалом для исследований служил набор интрогрессивных линий пшеницы, созданный в Омском ГАУ. Исследования проводили в полевых условиях в южной лесостепи Западной Сибири (г. Омск) по общепринятым методикам. После уборки определяли массу 1000 зерен и показатели качества зерна (содержание белка, сырой клейковины, натурную массу). Погодные условия в период исследований были контрастными: в 2017 г. длительное время стояла засуха при высоких температурах воздуха, а в 2018 г. выпадали регулярные обильные осадки при умеренных температурах. Лучшие интрогрессивные линии формировали стабильную урожайность, превышающую показатели стандартов в 1,2–2,5 раза (в среднем), а также имели высокие показатели массы 1000 зерен. Эти линии по содержанию в зерне белка (14,9–16,4%) и клейковины (29,5–33,6%) соответствовали сильной пшенице 1 и 2 класса, но в связи с формированием крупного зерна имели низкую натурную массу. В ходе исследований было отмечено преодоление устойчивости к стеблевой ржавчине ряда линий. После отбора были выделены линии, проявляющие иммунитет или высокую устойчивость к болезни (0–10MR) в Западной Сибири. По комплексу признаков (урожайности, качеству зерна и устойчивости к стеблевой ржавчине) выделены семь линий, перспективных для создания сортов для Западной Сибири.

Ключевые слова: мягкая пшеница, *Agropyron elongatum*, качество зерна, стеблевая ржавчина, Западная Сибирь

BIOCHEMICAL INDICATORS OF GRAIN QUALITY OF PROMISING MILD WHEAT LINES WITH GENES OF *AGROPYRON ELONGATUM*, RESISTANT TO STEM RUST

Plotnikova L.Ya., Kuzmina S.P., Frizen Yu.V.

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, e-mail: lplotnikova2010@yandex.ru

The relevance of the work is defined by the demand for breeding cultivars of spring mild wheat with high grain quality due to the use of resources of related species of cereals. The aim of this research was to investigate introgressive lines of spring mild wheat with genes of Wheatgrass Agropyron elongatum (Host) Beauv according to yield, grain quality and resistance against stem rust in forest-steppe zone of Western Siberia. Material for the study was a set of introgressive wheat lines, created within Omsk State Agrarian University (Omskyi SAU). The research was carried out in the field in the southern forest-steppe of Western Siberia. Omsk) by standard methods. After harvesting, mass of 1000 grains and grain quality (protein content, crude gluten, test weight) were determined. Weather conditions during the study period were contrasting: in 2017 there was a long drought at high temperatures, and in 2018 there was regular heavy rainfall at moderate temperatures. The best introgressive lines formed a stable yield, exceeding the standards by 1,2-2,5 times (on average), and also had a high mass of 1000 grains. These lines on the content of protein in grain (14,9–16,4%) and gluten (29,5–33,6%) corresponded to hard wheat of class 1 and 2, but in connection with formation of large kernel it had low test weight. In the research period, development of resistance against stem rust in a number of lines was noted. After selection, lines that showed immunity or high resistance to disease (0-10MR) in Western Siberia were determined. According to the complex of characteristics (yield, grain quality and resistance against stem rust), seven lines are identified as promising for breeding cultivars suitable for Western Siberia.

Keywords: mild wheat, *Agropyron elongatum*, grain quality, stem rust, Western Siberia

Мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – основная зерновая культура, массово возделываемая в регионах России. В последнее десятилетие производство зерна существенно возросло, однако, одновременно с ростом валовых сборов, сформировалась тенденция резкого снижения доли высококачественного зерна [1]. Качество зерна пшеницы определяется биохимическим составом, при этом от содержания и особенностей запасных белков зависит продовольственная ценность его партий [2]. На качество зерна пшеницы влияют многие факторы: генотип, почвенные и погодные условия, технологии производства, развитие болезней [3, 4].

На юге Западной Сибири и в Северном Казахстане располагаются массовые посевы пшеницы, составляющие «пшеничный пояс». Агроклиматические условия этих

регионов (черноземные почвы, большое число солнечных дней и температурный режим) позволяют получать зерно высокого качества [3]. Однако резкие колебании погодных условий и поражение болезнями приводят к большим потерям урожая и снижению качества продукции. В последние годы в Западной Сибири усиливается вредоносность стеблевой ржавчины, вызываемой патогенным грибом *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* Erikss. et Henn. [5, 6].

Для повышения сборов качественного зерна необходимо возделывать сорта устойчивые к абиотическим и биотическим факторам. Проверенным способом улучшения свойств пшеницы является введение в сорта полезных генов родственных видов. Многие виды рода *Agropyron* Gaertn. проявляют резистентность к стрессовым факторам среды (засухе, экстремальным температурам и др.), болезням, а также имеют высокое содержание в зерне белка и клейковины [2, 7]. В качестве источника генов преимущественно используют два вида – пырей промежуточный *Ag. intermedium* (Host) Beauv (=*Th. intermedium* (Host) Barkworth et D.R. Dewey) и пырей удлиненный *Agropyron elongatum* (Host) Beauv (= *Thinopyrum ponticum* (Podp.) Barkworth et D.R. Dewey) [7, 8]. В Омском ГАУ проводится работа по созданию и улучшению интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы с генами *Ag. elongatum* [9, 10].

Цель исследования: изучение набора интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы с генами *Ag. elongatum* по признакам урожайности, качества зерна и устойчивости к стеблевой ржавчине в условиях лесостепной зоны юга Западной Сибири.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследований служили интрогрессивные линии (350 шт.) яровой мягкой пшеницы с генами пырея удлиненного *Agropyron elongatum* (Host) Beuv, созданные в Омском государственном аграрном университете им. П.А. Столыпина (Омский ГАУ). Дополнительно в исследования были включены образцы BT-SR24-AG (PI-520490), LC-SR25-ARS (PI-520494) и TAF-2 с известными генами устойчивости к стеблевой ржавчине *Sr24*, *Sr25* и *Sr44* соответственно. В качестве стандартов были использованы сорта мягкой пшеницы: Памяти Азиева – среднеранний, Дуэт – среднеспелый, Серебристая и Элемент 22 (с 2018 г.) – среднепоздние. Исследования проводили в полевых условиях в южной лесостепи Западной Сибири (г. Омск) в 2017–2018 гг. Посев осуществляли по пару в третьей декаде мая на делянках площадью 2 м^2. Фенологические наблюдения проводили по общепринятым методикам. Развитие стеблевой ржавчины оценивали по методике, принятой в Международном центре CIMMYT – в процентах и по шкале (0 – без симптомов, иммунитет; R – мелкие хлорозные пятна без пустул, устойчивость; MR – мелкие пустулы с хлорозными зонами, средняя устойчивость; MS – мелкие пустулы занимают до 50% площади листьев, средняя восприимчивость; S – крупные пустулы занимают более 50% площади листьев, высокая восприимчивость) [11]. После уборки была определена урожайность образцов и масса 1000 зерен. Содержание белка и сырой клейковины (в%) определяли на приборе ИнфраЛЮМ ФТ-10.

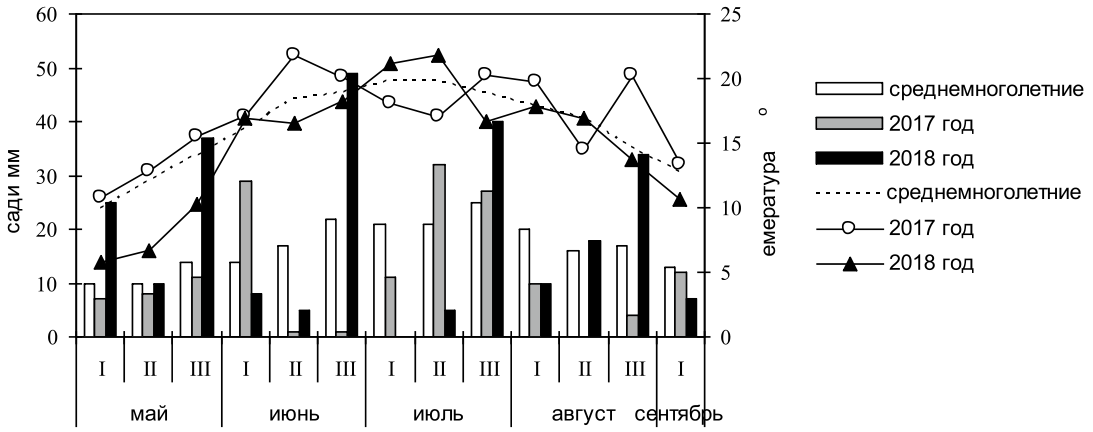
Результаты исследования и их обсуждение

Ag. elongatum является ценным источником полезных генов, однако интрогрессия его генов в *T. aestivum* крайне сложна, поскольку виды различаются плоидностью и набором геномов ($2n = 10x = 70$, *StStEeEbEx* и $2n = 6x = 42$, *BAD* соответственно). В геном пшеницы перенесен ограниченный набор генов устойчивости к стеблевой ржавчине от *Ag. elongatum*: *Sr24*, *Sr25* и *Sr43*, а *Sr44* был интрогрессирован из *Ag. intermedium* [12]. В результате длительной селекционной работы в Омском ГАУ был создан набор интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы, адаптированных к возделыванию на юге Западной Сибири. На первом этапе работы был получен межвидовой гибрид *T. durum*×*A. elongatum*, его скрестили с сортом мягкой пшеницы Пиротрикс 28 и получили пшенично-пырейные гибриды (ППГ). После семи циклов самоопыления были получены яровые ППГ, которые включили в программу возвратных скрещиваний с восприимчивыми к бурой и стеблевой ржавчине (поражение до 100%) сортами западносибирской селекции (Нива 2, Чернява 13, Голубковская) [5, 10]. Однако часть линий уступала по урожайности районированным сортам, а другие потеряли устойчивость к болезням в период исследований. Представленные в статье новые интрогрессивные линии были созданы с помощью шести-семи беккроссов и трех-четырех самоопылений, сопровождавшихся негативным отбором восприимчивых растений.

Климат Западной Сибири континентального типа, для него характерны резкие колебания погодных условий. Поэтому земледельческие районы относятся к зонам рискованного земледелия. Погодные условия в период исследований также значительно различались. В 2017 г. наблюдался большой недобор осадков (в сравнении со средними многолетними) в течение большей части сезона (рисунок). Кроме, того, высокая температура воздуха отмечена в июне, июле и августе, когда растения проходили фазы кущения, цветения и налива зерна, что привело к снижению урожайности. В 2018 г., наоборот, в течение сезона проходили нерегулярные, но интенсивные осадки на фоне пониженных или близких к средним температур. В 2018 г. сложились условия для формирования более высокой урожайности, чем в 2017 г. Для получения гарантированных урожаев в контрастных погодных условиях необходимы экологически пластичные сорта, способные поддерживать высокую урожайность и качество зерна в неблагоприятных условиях [13].

В регионе наиболее благоприятные условия для формирования зерна высокого качества складываются во второй половине августа во время созревания среднеранних и среднеспелых сортов. В связи с этим особое внимание было уделено созданию линий с сокращенным вегетационным периодом. В 2017–2018 гг. погодные условия способствовали синхронизации развития растений, поэтому вегетационный период сортов-стандартов был близок: Памяти Азиева – 78 сут., Дуэт – 82 сут., Серебристая – 87 сут (в среднем).

В 2017 г. в условиях длительной засухи и высоких температур более 30% интрогрессивных линий разных групп спелости были близки по урожайности к адаптированным к лесостепной зоне сортам, а лучшие значительно превышали их (табл. 1). В более благоприятном 2018 г. лучшие линии значительно превосходили стандарты по урожайности (в 1,2–2,5), включая новый сорт Элемент 22. Расчет коэффициентов корреляции между урожайностью и массой 1000 зерен показал достоверную положительную взаимосвязь (r = 0,68*) в 2017 г., но меньшую (r = 0,49*) в 2018 г. (* – достоверно при P_{05}). Вероятно, это объясняется тем, что в стрессовых условиях 2017 г. было нарушено формирование продуктивных стеблей и элементов колоса, поэтому урожайность в значительной степени сформировалась за счет налива зерна. В 2018 г. более благоприятные условия способствовали развитию комплекса элементов продуктивности. По данным за 2017–2018 гг. наиболее стабильную высокую урожайность показали линии № 4/2015, 31/2015, 375/2015, 37/2015. В эти годы все перечисленные линии по массе 1000 зерен существенно превосходили сорта-стандарты. Ранее полученные интрогрессивные линии также проявляли высокую экологическую пластичность в сочетании со стабильностью в неблагоприятных условиях, что подтверждает перспективность использования *Ag. elongatum* в селекции сортов для зон рискованного земледелия [13].



Среднедекадные показатели осадков и температуры воздуха в южной лесостепи Западной Сибири (г. Омск) в период вегетации пшеницы, 2017–2018 гг.

Таблица 1

Показатели урожайности, массы 1000 зерен и поражения стеблевой ржавчиной интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы, 2017–2018 гг.

Сорт, линия	Урожайность, т/га			Масса 1000 зерен, г			Поражение, %, реакция	
	2017	2018	средняя	2017	2018	средняя	2017	2018
Среднеранние								
Памяти Азиева – стандарт	2,81	3,81	3,31	35,7	35,3	35,5	70S	100S
4/2015	4,38	5,88	5,09	51,3	45,6	48,5	10S	5MR
31/2015	4,44	5,40	4,92	52,0	44,6	48,3	0R	0R
321/2017	3,61	6,15	4,88	52,7	46,7	49,9	5S	100S
Среднеспелые								
Дуэт – стандарт	3,66	5,02	4,34	34,5	43,8	39,2	60S	80S
375/2015	4,22	7,10	5,66	46,1	54,9	50,5	10S	100S
352/2017	3,38	6,16	4,77	42,7	45,5	44,1	5S	100S
322/2017	3,78	7,06	5,42	52,9	48,8	50,9	5S	5S
337/2017	3,88	5,03	4,44	51,6	49,7	50,7	5S	10S
Среднепоздние								
Серебристая – стандарт	2,23	3,01	2,62	39,1	36,8	38,0	70S	100S
Элемент 22 – стандарт	–	4,38	4,38	–	45,3	45.3	–	5MR
37/2015	3,51	6,57	5,04	48,1	54,2	51,2	0	0
314/2017	2,90	7,64	5,27	56,3	46,2	51,3	10S	5MR
351/2017	3,31	6,71	5,01	44,4	56,6	50,5	0	0R
354/2017	3,37	6,53	4,95	44,5	50,6	47,6	5S	60S
$НСР_{05}$	0,31	0,45	–	2,6	2,4	–	–	–

Стеблевая ржавчина – одно из наиболее вредоносных заболеваний пшеницы, способное в условиях эпифитотии вызывать потери до 70% урожая и резко снижать качество зерна [6]. Этот вид ржавчины в Западной Сибири вплоть до 2014 г. проявлялся редко и не наносил значимого ущерба. Впервые существенное поражение пшеницы в Омской области отмечено в 2014 г., а уже в 2015 г. зарегистрирована вспышка болезни, приведшая к потерям урожая во всем «пшеничном поясе» [5, 6]. Позже стеблевая ржавчина развивалась на посевах ежегодно.

В 2017 и 2018 гг. поражение сортов-стандартов Памяти Азиева, Дуэт, Серебристая достигало 70–100S, а Элемент был устойчив (табл. 1). В течение последних пяти лет было отмечено усиление поражения стеблевой ржавчиной созданного нами набора интрогрессивных линий с генами *Ag. elongatum*. В 2014 г. основная часть линий (85%) проявляла иммунитет или высокую устойчивость, а в 2018 г. доля высокоустойчивых снизилась до 35%, а восприимчивых (поражение 40–100S) возросла до 60%. В 2018 г. образцы с известными генами устойчивости – BTSR 24AG (*Sr24*) и LC-SR25-ARS (*Sr25*), TAF-2 (*Sr44*) были восприимчивы к сибирской популяции *P. graminis* f. sp. *tritici* (50S, 60S и 80S соответственно).

На интенсивном фоне болезни в 2015–2016 гг. нами был сделан отбор новых устойчивых линий. Часть выделенных линий потеряла резистентность в 2018 г., но иммунитет или высокую устойчивость (поражение не более 5–10%) сохранили № 31/2015, 37/2015, 351/2017, 4/2015, 322/2017, 337/2017, 314/2017. Можно предполагать, что эти линии защищены геном *Sr43* либо неизвестными генами. В России основные работы направлены на перенос в пшеницу генов гексаплоидного вида *Ag. intermedium*. В НИИСХ Юго-Востока (г. Саратов) и Самарском НИИСХ достигнуты большие успехи в создании сортов с использованием замещенных хромосом от *Ae. intermedium* – $6D(6Ag^{i})$ и $6D(6Ag^{i}2)$, а также транслокации с известными генами *Lr19/ Sr25* [9]. Наши результаты представляют интерес для селекции, поскольку набор известных генов, перенесенных из *Ag. elongatum*, невелик.

В наших экспериментах высокую среднюю урожайность за два года показали устойчивые линии № 4/2015, 31/2015, 322/2017, 37/2015, 314/2017, 351/2017. Между урожайностью и степенью поражения интрогрессивных линий установлена отрицательная взаимосвязь в засушливом 2017 г. ($r = –0,31$*). Однако в 2018 г. сравнимую и даже большую урожайность по срав-

нению с перечисленными имели ставшие восприимчивыми линии № 321/2017, 375/2015 и 354/2017. В 2018 г. отрицательная связь между урожайностью и поражением ржавчиной не доказана ($r = -0,15$). Возможно, этот результат объясним тем, что массовое развитие болезни произошло достаточно поздно, поэтому снижение урожайности оказалось невысоким. Не исключено также, что в благоприятных погодных условиях 2018 г. проявились компенсаторные механизмы, приведшие к поддержанию урожайности линий. В условиях усиления вредоносности стеблевой ржавчины различные способы защиты растений представляют интерес для сохранения урожая.

Качество зерна пшеницы определяется содержанием и химическими особенностями белков [2]. Наибольшую ценность представляет сильная пшеница 1 и 2 классов, из нее получают хлеб высшего качества и макаронные изделия, а мука может быть использована для улучшения качества муки низкого класса. Пшеница 3 класса отнесена к ценной, она может быть использована для выпечки хлеба стандартного качества, но не пригодна в качестве улучшителя муки. Основными показателями для первичной оценки партий зерна являются: содержание белка и сырой клейковины, натурная масса (натура) и стекловидность. Согласно Государственному стандарту Р 52554-2006 в зерне сильной пшеницы 1-го класса содержание белка в сухом веществе и сырой клейковины должно составлять 14,5 % и 32 %, 2-го класса – 13,5 и 28 %, 3-го класса – 12,0 и 23,0 % соответственно. Натурная масса зерна сильной пшеницы 1 и 2 класса должна составлять не менее 750 г/л, а ценной пшеницы – 730 г/л.

Среди включенных в наши исследования сортов сорт Памяти Азиева отнесен к сильным, а остальные – к ценным пшеницам. В период исследований сорт Памяти Азиева в целом соответствовал сильной пшенице 1 или 2 класса, но в 2018 г. снизился показатель натурной массы из-за формирования крупного зерна (табл. 2). Дуэт и Элемент 22 по содержанию белка соответствовали 1-му, по клейковине – 2-му классу, но имели низкую натуру зерна. Все интрогрессивные линии (кроме № 351/2017 в 2018 г.) сформировали высокобелковое зерно (в среднем 14,9–16,4 %) в двух контрастных по условиям сезонах. Две линии № 352/2017 и 37/2015 по комплексу показателей (содержанию белка, клейковины, натуре) в течение двух лет в основном соответствовали 1 классу, а также превышали стандарты по урожайности. Остальные линии по содержанию клейковины превосходили стандарты, но в связи с формированием крупного зерна не соответствовали требованиям по натуре 3 классу.

Таблица 2

Показатели качества зерна интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы, 2017–2018 гг.

Сорт, линия	Белок, %			Сырая клейковина, %			Натура зерна, г/л		
	2017	2018	среднее	2017	2018	среднее	2017	2018	среднее
Памяти Азиева – стандарт	14,8	15,8	15,3	30,7	32,0	31,4	820	725	773
4/2015	15,6	15,6	15,6	31,1	32,1	31,6	663	680	672
31/2015	15,0	14,7	14,9	29,1	30,0	29,6	540	777	658
321/2017	15,4	16,2	15,8	32,9	30,1	31,5	803	700	752
$НСР_{05}$	0,2	0,3	–	0,4	0,5	–	17	23	–
Дуэт – стандарт	15,4	14,8	15,1	30,6	29,3	29,8	663	500	582
375/2015	15,3	14,8	15,1	29,7	29,0	29,4	603	710	657
352/2017	16,1	16,7	16,4	32,0	33,9	33,0	714	746	730
322/2017	16,1	15,7	15,9	31,8	31,7	31,8	612	655	634
337/2017	15,6	15,0	15,3	31,6	30,7	31,2	715	688	702
$НСР_{05}$	0,4	0,5	–	0,7	0,5	–	18	21	–
Серебристая – стандарт	13,3	12,8	13,1	26,8	26,2	26,5	736	600	668
Элемент 22 – стандарт	–	15,5	15,5	–	28,9	28,9	–	700	700
37/2015	16,2	16,5	16,4	32,3	34,9	33,6	789	671	730
314/2017	15,5	15,2	15,4	30,4	30,3	30,4	458	706	582
351/2017	15,6	14,3	15,0	30,3	28,2	29,5	642	650	646
354/2017	15,8	14,9	15,4	31,1	30,0	30,6	530	620	575
$НСР_{05}$	0,2	0,4	–	0,5	0,6	–	19	224	–

Как правило, наблюдается отрицательная взаимосвязь между содержанием белка в зерне с показателями урожайности и массы 1000 зерен [2, 3]. Однако у дикорастущей пшеницы *T. dicoccoides* выявлен *Gpc-B1*, который при переносе в мягкую пшеницу обеспечивал высокое содержание белка в зерне при незначительном влиянии на урожайность [1]. Предполагается, что у *Ag. elongatum* и *Ag. intermedium* существуют гены ортологичные *Gpc-B1*, которые позволят создать высокобелковые формы пшеницы. Кроме того, установлена положительная взаимосвязь между устойчивостью к ржавчинным болезням и содержанием белка в зерне [2]. Выделенные нами линии поддерживали стабильное высокое содержание белка на фоне поражения стеблевой ржавчиной как в засушливом 2017 г., так и в благоприятном для формирования высокой урожайности 2018 г. В группе лучших линий в 2017 г. коэффициенты корреляции между урожайностью, а также содержанием белка или клейковины составили $r = -0{,}43^*$ и $r = -0{,}39^*$ соответственно, а в 2018 г. – $r = -0{,}33^*$ и $r = -0{,}28$ соответственно. Это указывает на то, что у интрогрессивных линий пшеницы отрицательная взаимосвязь между урожайностью и содержанием белка проявлялась в средней или слабой степени.

Заключение

Изучение вновь созданного селекционного материала яровой мягкой пшеницы с генами *Ag. elongatum* показало, что лучшие линии имеют сокращенный вегетационный период и способны формировать более высокую (в 1,2–2,5 раза) и стабильную урожайность, чем адаптированные к зоне сорта-стандарты в контрастных погодных условиях. В 2014–2018 гг. отмечено преодоление устойчивости к стеблевой ржавчине части интрогрессивных линий, а также поражение образцов с известными генами *Sr24*, *Sr25*, *Sr44*. При этом набор линий (№ 31/2015, 37/2015, 314/2017, 322/2017, 337/2017, 351/2017) сохранил иммунитет или высокую устойчивость к болезни, вероятно, за счет присутствия неизвестных генов. Лучшие интрогрессивные линии по содержанию в зерне белка (14,9–16,4 %) и клейковины (29,5–33,6 %) соответствовали сильной пшенице 1 и 2 класса, но в связи с формированием крупного зерна натура была низкой. По комплексу признаков (урожайности, качеству зерна и устойчивости к стеблевой ржавчине) выделились семь линий (№ 4/2015, 31/2015, 37/2015, 314/2017, 322/2017, 337/2017, 351/2017), которые представляют интерес для создания сортов яровой мягкой пшеницы, адаптированных к условиям Западной Сибири.

Список литературы / References

1. Хлесткина Е.К., Пшеничникова Т.А., Усенко Н.И., Отмахова Ю.С. Перспективные возможности использования молекулярно-генетических подходов для управления технологическими свойствами зерна пшеницы в контексте цепочки «зерно – мука – хлеб» // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. Т. 20. № 4. С. 511–527. DOI 10.18699/VJ15.140.

Khlestkina E.K., Pshenichnikova T.A., Usenko N.I., Otmakhova Yu.S. Prospective applications of molecular genetic approaches to control technological properties of wheat grain in the context of the «grain – flour – bread» chain // Vavilovskii Zhurnal Genetiki I Selektsii. 2016. vol. 20. № 4. P. 511–527. DOI 10.18699/VJ15.140 (in Russian).

2. Крупнов В.А., Крупнова О.В. Генетическая архитектура содержания белка в зерне пшеницы // Генетика. 2012. Т. 48. № 2. С. 149–159.

Krupnov V.A., Krupnova O.V. Genetic architecture of grain protein content in wheat. Russian Journal of Genetics. 2012. vol. 48. no. 2. P. 129–138. DOI: 10.1134/S1022795412010139.

3. Вдовина Т.В., Колмаков Ю.В., Поползухин П.В., Белан И.А. Качество зерна пшеницы разных сроков посева в южной лесостепи Омской области // Известия Оренбурского ГАУ. 2013. № 5 (43). С. 52–54.

Vdovina T.V., Kolmakov Yu.V., Popolzuhin P.V., Belan I.A. Grain quality of wheat in different date of sowing in the Southern forest-steppe of Omsk region // Izvestiya Orenburgskogo GAU. 2013. № 5 (43). P. 52–54 (in Russian).

4. Санин С.С., Жохова Т.П. Влияние болезней и средств защиты растений на качество зерна пшеницы // Защита и карантин растений. 2012. № 11. С. 16–19.

Sanin S.S., Zhohova T. P. Influence of diseases and plant protection agents on the quality of wheat grain // Plant protection and quarantine. 2012. № 11. P. 16–19 (in Russian).

5. Плотникова Л.Я., Айдосова А.Т., Рыспекова А.Н., Мясников А.Ю. Интрогрессивные линии мягкой пшеницы с генами пырея удлиненного *Agropyron elongatum* устойчивые к листовым болезням на юге Западной Сибири // Вестник ОмГАУ. 2014. № 4 (16). С. 3–7.

Plotnikova L.Y., Aidosova A.T., Rispekova A.N., Myasnikov A.Yu. Introgressive lines of common wheat with genes of Wheatgrass Agropyron elongatum resistant to leaf diseases in the South West Siberia // Vestnik OmGAU. 2014. № 4 (16). P. 3–7 (in Russian).

6. Shamanin V.P., Salina E., Wanyera R., Zelenskiy Yu., Olivera P., Morgunov A. Genetic diversity of spring wheat from Kazakhstan and Russia for resistance to stem rust Ug99. Euphytica. 2016. no 212. P. 287–296. DOI: 10.1007/s10681-016-1769-0.

7. Salina E.F., Adonina I.G., Badaeva E.D., Krupin P.Y., Stasyuk A.I., Leonova I.N.., Shishkina A.A., Divashuk M.G., Starikova E.V. A Thinopyrum intermedium chromosome in bread wheat cultivars as a source of genes conferring resistance to fungal diseases. Euphytica. 2015. vol. 204. P. 91–101. DOI: 10.1007/s10681-014-1344-5.

8. Сибикеев С.Н., Бадаева Е.Д., Гультяева Е.И., Дружин А.Е., Шишкина А.А., Драгович А.Ю., Крупин П.Ю., Карлов Г.И., Кхуат Т.М., Дивашук М.Г. Сравнительный анализ 6AGI и 6AGI2 хромосом Agropyron intermedium (Host) Beauv у сортов и линий мягкой пшеницы с пшенично-пырейными замещениями // Генетика. 2017. Т. 53. № 3. С. 298–309. DOI: 10.7868/S0016675817030110.

Sibikeev S.N., Druzhin A.E., Badaeva E.D., Shishkina A.A., Dragovich A.Y., Gultyaeva E.I., Krupin P.Y., Karlov G.I., Khuat T.M., Divashuk M.G. Comparative analysis of Agropyron intermedium (Host) Beuv 6AG[1] and 6AG[1]2 chromosomes in bread wheat cultivars and lines with Wheat-Wheatgrass

substitutions. Russian Journal of Genetics. 2017. vol. 53. no. 3. P. 314–324. DOI: 10.1134/S1022795417030115.

9. Плотникова Л.Я., Серюков Г.М., Шварц Ю.К. Цитофизиологические механизмы устойчивости к бурой ржавчине у пшенично-пырейных гибридов, созданных на основе *Agropyron elongatum* // Микология и фитопатология. 2011. Т. 45. № 5. С. 443–454.

Plotnikova L.Ya., Seryukov G.M., Shvarts Yu.K. Cytophysiological resistance mechanisms to leaf rust in Wheat-Agropyron hybrids created on the base of Agropyron elongatum // Mikologia i fitopatologyia. 2011. vol. 45. no. 5. P. 443–454 (in Russian).

10. Плотникова Л.Я., Кузьмина С.П., Айдосова А.Т., Дегтярев А.И. Изменение агрономических свойств пшенично-пырейных гибридов при создании доноров для селекции пшеницы, адаптированных к условиям лесостепной зоны Западной Сибири // Омский научный вестник. 2014. № 2 (134). С. 155–159.

Plotnikova L.Ya., Kuzmina S.P., Aidosova A.T., Degtyarev A.I. Changing agronomic characters of Wheat–Agropyron elongatum hybrids when creating donors for wheat breeding adapted to forest-steppe zone of West Siberia // Omskyi nauchnyi vestnik. 2014. № 2 (134). P. 155–159 (in Russian).

11. Койшыбаев М., Шаманин В.П., Моргунов А.И. Скрининг пшеницы на устойчивость к основным болезням: Методические указания. Анкара, 2014. 59 с.

Koishybayev M., Shamanin V.P., Morgunov A.I. Screening wheat for resistance to the main diseases: Guidelines. Ankara, 2014. 59 p. (in Russian).

12. McIntosh R.A., Yamazaki Y., Dubcovsky J. Catalogue of gene symbols for wheat. [Electronic resource]. URL: http://www.shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/ (date of access: 10.10.2019).

13. Плотникова Л.Я., Сагендыкова А.Т., Кузьмина С.П. Оценка экологической пластичности и устойчивости к бурой ржавчине интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генами *Agropyron elongatum* // Аграрная Россия. 2016. № 9. С. 5–13. DOI: 10.30906/1999-5636-2016-9-5-13.

Plotnikova L.Ya., Sagendykova A.T., Kuzmina S.P. Estimation of resistance to the leaf rust and ecological plasticity of introgressive lines of common wheat with Agropyron elongatum genes // Agrarnayia Rossia. 2016. № 9. P. 5–13 (in Russian).

УДК 631.51:633.15

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПОСОБОВ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПРИЕМОВ УХОДА В БОРЬБЕ С СОРНЯКАМИ НА ПОСЕВАХ КУКУРУЗЫ

[1]Тарчоков Х.Ш., [1]Тутукова Д.А., [2]Дугарлиев Р.М.

[1]Институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук», Нальчик, e-mail: djudi_12@mail.ru;
[2]Научно-образовательный центр ФГБНУ Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук», Нальчик, e-mail: ruslan.dugarliev88@mail.ru

Исследования проводили в Центральной части Северного Кавказа в условиях степной зоны Кабардино-Балкарии на экспериментальном поле лаборатории технологии возделывания полевых культур ИСХ КБНЦ РАН. Результаты, полученные в 3-годичном полевом опыте, свидетельствуют о том, что нет существенной разницы между испытываемыми основными способами обработки почвы по степени подавления сорняков на посеве орошаемой кукурузы. К концу вегетации культуры на хозяйственном контроле количество сорных растений (280–287 шт.) на 1 м^2 как по уровню плотности (экземпляров), так и по надземной сырой массе в граммах (110–113 г) не выходило за пределы несущественной разницы. Техническая эффективность рассматриваемых способов обработки почвы (уровень снижения засоренности посевов) на гербицидных фонах также была практически одинаковой: 55–130 на вспашке ПЛН-4-35 против 60–133 экземпляров на варианте с безотвальным рыхлением. Подобная закономерность наблюдается и в отношении надземной сухой массы сорняков – 35–70 против 40–75 г/м^2 к периоду завершения вегетации кукурузы. Зерновая продуктивность культуры, полученной на вариантах с различными способами обработки почвы, также была одинаковой в среднем за 2016–2018 гг. В наших исследованиях также доказано сокращение расхода дизтоплива с 25,0 на вспашке до 15,0 кг на сумму 450,0 руб/га при ее замене рыхлением при одинаковой глубине обработки почвы. Затраты денежных средств от применения гербицидов баковой смеси Вояж, ВДГ (750 г/л) и Диален Супер, ВР (344 г/л 2.4 – Д к-ты + 120 г/л дикамбы к-ты) в дозировках 0,05 кг + 0,8 л/га составили более 11 руб/руб.

Ключевые слова: сорные растения, гербициды, зерновая продуктивность, кукуруза, вегетационный период, стерневой предшественник, способы основной обработки, пропашные культуры

EFFICIENCY OF METHODS OF BASIC SOIL TREATMENT AND MEANS OF CARE IN COMBATING WEEDS ON CORN SEEDS

[1]Tarchokov Kh.Sh., [1]Tutukova D.A., [2]Dugarliev R.M.

[1]Institute of Agriculture – a branch of the Federal State Budget Scientific Institution Federal Scientific Center «Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences», Nalchik, e-mail: djudi_12@mail.ru;
[2]Scientific and educational center of the Federal State Budget Scientific Institution Federal Scientific Center «Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, e-mail: ruslan.dugarliev88@mail.ru

The studies were carried out in the central part of the North Caucasus in conditions of steppe zone of Kabardino-Balkaria at experimental field of laboratory of field crop cultivation technology at the Institute of Agriculture of the KBSC RAS. The results obtained within 3-year field experiment indicate that there is no significant difference between the main tested soil cultivation methods in terms of weed suppression degree in the sowing of irrigated corn. By the end of crop growing season on the economic control, the number of weeds (280-287 pcs) per 1 m2, both in terms of density (copies) and the above-ground wet weight in grams (110-113 g), did not exceed the marginal difference. The technical efficiency of the considered methods of soil cultivation (the level of reduction of weediness of crops) on herbicidal backgrounds was also almost the same: 55-130 on plowing PLN-4-35 versus 60-133 specimens for the variant with non-dump cultivation. A similar pattern was observed in relation to the above-ground dry mass of weeds – 35-70 against 40-75 g / m2 by the period of completion of corn vegetation. Grain productivity of the crop, obtained in variants with different methods of tillage was also the same on average for 2016-2018. In our studies, we also prove a reduction in diesel fuel consumption from 25.0 on plowing to 15.0 kg in the amount of 450.0 rubles/ha when it is replaced by loosening at the same depth of tillage (table 4). The cost of cash from use of herbicides tank mixture Voyage, EDG (750 g / l) and Dialen Super, BP (344 g/l 2.4-D K-you + 120 g / l dicamba K-you) in dosages of 0.05 kg + 0.8 l / ha amounted to more than 11 rub. / rub.

Keywords: weeds, herbicides, grain productivity, corn, growing season, stubble precursor, methods of basic processing, row crops

Кукуруза – одна из важнейших сельскохозяйственных культур в структуре посевных площадей республик Северо-Кавказского региона. Однако в своем стремлении получать гарантированный урожай кукурузы даже в засушливые годы многие землепользователи юга России все чаще прибегают к возделыванию этой культуры на орошении. Но следует отметить, что искусственный полив – это лишь часть технологической цепочки, которая при соответствующем ее соблюдении позволяет собрать урожай

зерна в два-три раза больше, чем без него. Однако в агротехнологиях возделывания сельскохозяйственных культур особое место отводится принципам ресурсосбережения. В последние годы имеет место постоянный рост цен на дизтопливо, вынуждающий сельхозпроизводителей осваивать ресурсосберегающие технологии, где сокращение затрат направлено в первую очередь на это звено земледелия [1]. Важно помнить, что выращивание кукурузы на орошении, наряду с усиленным потреблением элементов питания, подбором наиболее «технологичных» гибридов (сортов), надежной защитой от вредителей и болезней и др., о том, что одним из важнейших элементов в технологии ее возделывания является максимально возможное снижение, а при некоторых случаях и полное исключение вредоносности сорнополевого сообщества на посевах.

Цель исследования: изучение различных способов обработки почвы и применения гербицидов для борьбы с сорными растениями на посевах кукурузы.

Материалы и методы исследования

В годы проведения исследований погодные условия несколько отличались от среднемноголетних показателей.

Количество выпавших осадков в 2016 г. было выше нормы на 101,0 мм, а в 2017 г. она была ниже на 83,1 мм, а в 2018 г. – на уровне среднемноголетних показателей. Среднемесячная температура воздуха в 2016 г. превышала уровень многолетних данных на 2,6 °С; в 2017 и 2018 гг. также отмечалось повышение этого показателя, но не выходило за пределы 1,2–1,3 °С.

Относительная влажность воздуха, в среднем за годы исследований, существенно (на 3,2–4,4 %) снизилась по сравнению со среднемноголетними данными.

Свои исследования проводили в соответствии с требованиями методики полевого опыта и определения экономической эффективности результатов НИР в 2016–2018 гг. на экспериментальном поле лаборатории технологии возделывания полевых культур ИСХ КБНЦ РАН в п. Опытном Терского района КБР [2, 3].

Почва опытного участка – обыкновенный (карбонатный) чернозем тяжелосуглинистого механического состава с содержанием: гумуса – 3,0–3,5; P_2O_5 – 0,14–0,27 и K_2O – 2,0–2,6 % (по Мачигину).

Среднегодовое количество осадков – 360–400 мм. За вегетационный период было проведено три полива по бороздам общей оросительной нормой 1500 м³/га. В опытах высевали двухлинейный (простой) среднепоздний (ФАО – 450) гибрид кукурузы Терек селекции ФГБНУ НИИ кукурузы и ИСХ КБНЦ РАН, которая относится к группе зубовидной кукурузы с желтым зерном и красным початковым стержнем. На высоком агрофоне способен формировать более 10,0 т/га зерна, превосходящий стандарт на 0,4 т/га и более. На Госсортоиспытании с 2017 г.

Кукурузу выращивали в 2-факторном полевом опыте в севообороте короткой ротации с чередованием культур: кукуруза – оз. пшеница – горох. Схема опыта состояла из двух способов основной (фактор А) обработки почвы: культурная вспашка ПЛН – 435 (Гост – 16265 – 80) и безотвальное рыхление ЧКУ – 4,0 на глубины 28–30 см. Варианты с приемами ухода (фактор В) включали: 1. Контроль – 1 (хозяйственный): 2. Контроль – 2 (без сорняков); 3. Вояж, ВДГ; – 0,1 кг/га; 4. Диален Супер; – 1,5 л/га; 5. Вояж, ВДГ + Диален Супер в соотношении 0,05 кг:0,8 л/га. Следует отметить, что, привлекая гербициды различных химических составов для изучения их эффективности в борьбе с сорняками на посевах кукурузы, исходили из того, что они будут «работать» в условиях большого разнообразия сорно-полевого сообщества. Это представители различных ботанических классов (злаковые и двудольные), среди которых огромное количество особо опасных многолетников (корневищные, корнеотпрысковые), малолетние (одно- и двухлетние).

Поэтому целесообразно представить некоторые химические свойства и их основное предназначение по степени подавления отдельных групп сорняков на посевах кукурузы.

Диален Супер, ВР – (водный раствор) двухкомпонентный (344 г/л 2,4-Д к-ты + 120 г/л дикамбы к-ты). Препарат системного действия угнетает более 200 видов двудольных сорняков, включая особенно злостные (виды осотов, вьюнок полевой подмаренник цепкий и др.); обладает высокой селективностью, нет ограничений в севообороте, удобная упаковка; возможны использование в баковых смесях с другими гербицидами и инсектофунгицидами. Рекомендуемые дозировки – 1,0–1,5 л/га рабочего раствора, производит фирма «Сингента».

Вояж, ВДГ (750 г/кг) – водно-диспергируемые гранулы, подавляет в основном злаковые много- и однолетники и некоторые двудольные малолетники.

Рекомендуемая фаза развития кукурузы для обработки посевов 3–6 листьев (высо-

та многолетних сорняков – 10–22 см); рекомендуемая доза применения без прилипателя ПАВ – 0,08–0,1 кг/га; с прилипателем (Сигма 90, Ж – 200 мл/га) её уменьшают до 0,05–0,06 кг/га. Расходы рабочего раствора 250–300 л/га.

Опыты закладывали систематическим методом в 4-кратной повторности в два яруса, площади делянок – общая – 180, учетная – 120 м^2, урожай убирали вручную с последующим пересчетом зерна в т/га стандартной влажности. Учеты засоренности посевов проводили количественно-весовым методом перед уборкой урожая зерна кукурузы.

Технология возделывания кукурузы на орошении – общепринятая для степной зоны республики. Большую часть минеральных удобрений ($N_{30}P_{90}K_{60}$) вносили осенью под основную обработку почвы; аммиачную селитру с содержанием азота 34,0 % в дозе 30 кг/га по д.в. – в виде подкормки в фазе 3–5 листьев кукурузы. Обработку междурядий проводили дважды – первая – в фазе полных всходов культуры, вторая – в период появления 5–6 листьев с использованием пропашного культиватора КРН-5,6 в сцепке с тракторами на колесном ходу.

Ежегодное обследование посевов выявило более 15 видов сорняков, относящихся к различным семействам. В отдельные годы доминировали многолетники – гумай (*Sorqium Zalepense* Per), виды осотов – розовый (*Cirsium arvense* Z.) и желтый (*Sonchus arvensis* Z.), вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* Z.), свинорой пальчатый (*Cynodon dactylon* Z.).

В орошаемом земледелии Северо-Кавказского федерального округа эта группа сорняков наиболее вредоносна на посевах пропашных культур, в том числе и кукурузы, снижая продуктивность культур, до 70–75 и более процентов [4–6].

Результаты исследования и их обсуждение

Для решения этой задачи нами проведены исследования методом полевого опыта в 2016–2018 гг. с посевами кукурузы в условиях орошения степной зоны Центральной части Северного Кавказа.

В табл. 1 представлены материалы по изменению степени засоренности посевов от способов обработки почвы (фактор А) и приемов ухода за посевами культуры (фактор В).

Таблица 1

Влияние способов основной обработки почвы и приемов ухода на засоренность посевов кукурузы; среднее за 2016–2018 гг. (засоренность на 1 м^2 перед уборкой урожая)

№	Способы основной обработки почвы (фактор А)	Приемы ухода за посевами (фактор В)	Всего сорняков в:		Сухая надземная масса в:	
			экз.	%	г	%
1	Культурная вспашка ПЛН-4–35 на 28–30 см	Контроль-1 (хозяйственный)	280	100	110	100
		Контроль-2 (без сорняков)	–	–	–	–
		Вояж, ВДГ; +) 0,1 кг/га	130	46,8	70	63,6
		Диален Супер;+) 1,5 л/га	148	52,8	73	66,3
		Вояж, ВДГ + Диален Супер в соотн.0,05 кг:0,8 л/га	55	19,6	35	31,8
2	Безотвальное рыхление ЧКУ-4,0 на 28–30 см	Контроль-1 (хозяйственный)	287	100	113	100
		Контроль-2 (без сорняков)	–	–	–	–
		Вояж, ВДГ; +) 0,1 кг/га	133	46,3	75	66,4
		Диален Супер;+) 1,5 л/га	150	52,3	70	62,0
		Вояж, ВДГ + Диален Супер в соотн. 0,05 кг:0,8 л/га	60	21,0	40	35,4
3	НСР т/га по фактору:	А	30,1		35,2	
		В	23,4		26,4	
		А + В	26,3		28,4	

+)Примечание. Обработка посевов гербицидами проводилась в фазе 3–5 листьев кукурузы.

Так на контроле-1 (хозяйственный), где приемы подавления сорных растений (фактор А) состояли из: боронований (до всходов и в период полных всходов), двукратных рыхлений междурядий (второе – с одновременной нарезкой поливных борозд), общее количество сорняков к периоду уборки урожая было наибольшее – 280 экземпляров и 110 г/м^2 по надземной сухой массе.

Обработка посевов в фазе 3–5 листьев кукурузы гербицидами Вояж, ВДГ в дозе 0,1 кг/га и Диаленом Супер в дозе 1,5 л/га снижают засоренность посевов до 130–148 шт. сорных растений по плотности и до 70–73 г сухой надземной массы на 1 м^2.

Однако техническая эффективность приемов ухода за посевами кукурузы резко повышается на варианте с применением гербицидов в баковой смеси и в меньших дозировках: Вояж, ВДГ + Диален Супер в соотношении 0,05 кг: Диален Супер 0,8 л/га. Общее количество погибших сорняков достигало более 80,0 % по плотности и до 70,0 % – по воздушно-сухой массе.

На фоне с безотвальным рыхлением сорные растения на хозяйственном контроле были практически на уровне данных с культурной вспашкой – 287 шт. и 113 г против 280 и 110 г/м^2. Как видно из представленных результатов таблицы, эти показатели также были идентичными на вариантах с применением гербицидов в отдельности и в баковой смеси, но с пониженными дозировками. Это явление свидетельствует о том, что в условиях проведения исследований (степная зона Кабардино-Балкарии) на орошаемой кукурузе характерен сложный тип засоренности посевов. Поэтому использование гербицидов, как противозлакового (Вояж, ВДГ), так и противодвудольного (Диален Супер) направлений, на одном поле предпочтительнее того, когда их применяют на разных участках.

Высокая эффективность гербицидов с разными характерами влияния на сорняки (почвенного и повсходового действий) доказана также и в условиях Ставропольского края на посевах гибрида кукурузы Машук 335 МВ [7].

Приведенные данные свидетельствуют о том, что в последние десятилетия существенно изменились процессы деградации земель по причине изменений климата, сопровождающихся расширением ареала распространения сорных растений разных ботанических классов в соответствующих регионах [8].

В полевом земледелии методы исключения отрицательного влияния вредных организмов в агроценозах сельскохозяйственных культур должны сопровождаться сохранением от потерь значительной доли полезной продукции. Тем более доказано, что во всем мире ежегодные потенциальные потери урожая сельскохозяйственных культур от сорных растений оценивается в 39,3 млн т зерновых единиц, а общие среднегодовые потери от вредных организмов в целом, включая и сорно-полевое сообщество, составляют в среднем 101,6 млн т зерновых единиц [9]. А из четырех групп потерь в сельском хозяйстве (1 – болезни культурных растений, 2 – насекомые, 3 – грызуны и хищники, 4 – сорные растения) сорняки причиняют наибольший ущерб, и потери от них превышают суммарные убытки по трем остальным группам вместе взятые [10].

В наших 3-годичных исследованиях урожай зерна кукурузы на вариантах с приемами ухода на фоне вспашки состоял из разных величин (табл. 2).

На хозяйственном контроле этот показатель не превышал в среднем 5,6 т/га. Обеспечение чистоты посевов с ручным способом удаления сорняков (последние систематически удалялись вручную в течение вегетации по мере их очередного появления на посевах) сопровождается сохранением от потерь до 1,4 т зерна с каждого гектара посевной площади.

Химпрополка посевов гербицидами, внесенными в отдельности, действует эффективно в отношении формирования урожая зерна с сохранением от потерь до 0,5–0,6 т/га. Применение данного метода, но в баковой смеси пониженными нормами способствует получению урожая зерна в пределах 6,0–6,5 т/га, с получением дополнительной продукции в пределах 0,5–0,6 т/га.

Такая же закономерность характерна для испытываемых приемов ухода, проводимых на фоне с безотвальным рыхлением почвы ЧКУ – 4,0 взамен отвальной вспашки.

Однако следует отметить, что длительное применение энергоемких приемов обработки почвы во многих регионах, как в Российской Федерации, так и за рубежом, привело к тому, что интенсивность почворазрушающих составляющих превысила скорость естественного почвообразования [11]. По мере увеличения и рабочих скоростей сельхозагрегатов все более возрастают противоречия между необходимостью проведения агротехнологических приемов и отрицательным воздействием их на плодородие почвы [12].

Таблица 2

Влияние способов основной обработки почвы и приемов ухода за посевами на зерновую продуктивность кукурузы (урожай зерна в т/га при 14 % влажности)

№	Способы основной обработки почвы (фактор А)	Приемы ухода за посевами (фактор В)	Годовые показатели			Среднее з а 2016–2018 гг.	
			2016 г.	2017 г.	2018 г.	всего	в том числе прибавки
1	Культурная вспашка ПЛН-4-35 на 28–30 см	Контроль-1 (хозяйственный)	5,7	5,5	5,6	5,6	–
		Контроль-2 (без сорняков)	7,0	6,8	7,2	7,0	1,4
		Вояж, ВДГ – 0,1 кг/га	6,5	6,0	6,3	6,2	0,6
		Диален Супер-1,5 л/га	6,2	6,1	6,0	6,1	0,5
		Вояж, ВДГ + Диален Супер в соотн. 0,05 кг:0,8 л/га	7,1	7,0	7,0	7,0	1,4
2	Безотвальное рыхление ЧКУ-4,0 на 28–30 см	Контроль-1 (хозяйственный)	5,6	5,4	5,5	5,5	–
		Контроль-2 (без сорняков)	6,9	7,0	7,0	6,9	1,4
		Вояж, ВДГ – 0,1 кг/га	6,4	5,9	6,2	6,2	0,7
		Диален Супер-1,5 л/га	6,0	6,2	5,9	6,0	0,4
		Вояж, ВДГ + Диален Супер в соотн. 0,05 кг:0,8 л/га	7,0	6,8	6,9	6,9	1,3
	НСР т/га по фактору:	А	0,8	1,0	0,6	–	–
		В	0,7	0,6	0,4	–	–
		А + В	0,9	0,7	0,6		

Таблица 3

Хозяйственная эффективность способов основной обработки почвы

Показатели	Вспашка ПЛН-4-35 на 28–30 см		Рыхление ЧКУ-4,0 на 28–30 см	
	Контроль-1 (хозяйственный)	Контроль-2 (без сорняков)	Контроль-1 (хозяйственный)	Контроль-2 (без сорняков)
Урожайность, т/га	5,6	7,0	5,5	6,9
Затраты диз. топлива, кг/га	25,0	25,0	15,0	15,0
Стоимость диз. топлива, руб/га	1000,0	1000,0	600,0	600,0

В наших исследованиях интенсивность обработки почвы различной степени и сельхозорудиями (вспашка ПЛН-4-35 и рыхление ЧКУ-4,0) сформировали практически одинаковую урожайность зерна кукурузы (табл. 3).

На варианте с безотвальным рыхлением экономия материально-денежных средств (600 руб./га против 1000 руб./га) происходит за счет снижения тягового сопротивления по сравнению со стандартной обработкой почвы с оборотом пласта плугами ПЛН-4-35 [13].

Результаты дальнейших расчетов свидетельствуют о том, что отмечается существенная разница затрат дизельного топлива на обработку гектарной площади посевов (соотношение 25,0:15,0 кг/га). Экономия дорогостоящих средств составила 400,0 руб./га.

Положительный хозяйственный эффект способов основной обработки почвы сопровождался и высокими показателями экономической эффективности различных приемов ухода (табл. 4).

Так на варианте с хозяйственным контролем выручка от реализации урожая кукурузы в количестве 5,55 т/га, при рыночной цене фуражного зерна по состоянию на 01.01.2018 г., составила 83250 руб. Применение баковой смеси гербицидов Вояж, ВДГ + Диален Супер в соотношении 0,05 кг:0,8 л/га способствовало получению 108750 руб. Это превышает данные, полученные на варианте с контролем-1 на 25500 руб/га, что дает чистый доход, равный 23483 руб/га. Приведенные расчеты свидетельствуют о том, что каждый затрачиваемый рубль на приобретение, доставку в хозяйство и внесение на посевы кукурузы окупается 11,6 руб./руб. посевной площади.

Таблица 4

Экономическая эффективность различных приемов ухода за посевами кукурузы [+)]

Показатели	Сопоставимые варианты	
	Контроль-1 (хозяйственный)	Вояж, ВДГ + Диален Супер в соотн. 0,05 кг:0,8 л/га
Урожай, т/га	5,6	7,0
Цена 1 т, руб.	15 000	15 000
Стоимость продукции, руб/т	83 250	108 750
Дополнительный урожай, т/га	–	1,70
Стоимость дополнительного урожая, руб/га	–	25500
Затраты (прямые) на получение дополнительного урожая, руб/га	–	2 017
Чистый доход, руб/га	–	23 483
Окупаемость денежных затрат; руб/руб.	–	11,6

Примечание. [+)]Расчеты проведены по усредненным данным урожая зерна кукурузы на фонах основной обработки почвы.

Выводы

1. На орошаемых посевах кукурузы в условиях Центральной части Северного Кавказа в качестве основного способа обработки почвы следует применять безотвальное рыхление ЧКУ-4,0 на глубину 28–30 см. Это обеспечивает экономию дизтоплива в 10 кг/га по сравнению с данными, обозначенными на фоне стандартной вспашкой с оборотом пласта на такую же глубину обработки почвы.

2. На посевах гибрида кукурузы высокоэффективным методом снижения вредоносности сорняков является применение баковой смеси гербицидов Вояж, ВДГ + Диален Супер, ВР в соотношении 0,05 кг:0,8 л/га в фазе развития культуры 3–5 листьев. Это обеспечивает сохранение от потерь до 1,5 т/га зерна и снижение засоренности посевов к уборке урожая на 78,0–80,0 и более процентов.

3. Затраты денежных средств, идущих на проведение химпрополки смешанными гербицидами, окупаются более, чем 11 руб/руб.

Список литературы / References

1. Полин В.Д., Смелкова И.А. Изменение сорного компонента под действием ресурсосберегающих систем обработки почвы в зернопропашном севообороте и методы борьбы с ним // Земледелие. 2015. № 8. С. 29–32.

Polin V. D., Smelkova I. A. Change in the weed component under the influence of resource-saving soil cultivation systems in grain-crop rotation and methods of dealing with it // Zemledelie. 2015. № 8. P. 29–32 (in Russian).

2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 335 с.

Dospekhov B.A. Methods of field experience. M.: Kolos, 1985. 335 p. (in Russian).

3. Методика определения экономической эффективности использования в сельскохозяйственном производстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рацпредложений. М.: Колос, 1980. 112 с.

The methodology for determining the economic efficiency of the use in agricultural production of the results of research and development work, new equipment, inventions and rationalization proposals. M.: Kolos, 1980. 112 p. (in Russian).

4. Адиньяев Э.Д. Приемы создания высокопродуктивных посевов кукурузы в предгорьях Северного Кавказа // В материалах Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Горского ГАУ (г. Владикавказ, часть I, 29–30 ноября 2018 г.) Владикавказ: Горский ГАУ, 2018. С. 9–11.

Adinyaev E.D. Techniques for creating highly productive corn crops in the foothills of the North Caucasus // In the materials of the International scientific-practical conference dedicated to the 100th anniversary of the Gorsky GAU (Vladikavkaz; part I; November 29–30, 2018). Vladikavkaz: Gorsky GAU, 2018. P. 9–11 (in Russian).

5. Лаптиев А.Б., Шпанев А.М. Сорная растительность в севообороте и совершенствование использования гербицидов // Земледелие. 2011. № 5. С. 45–48.

Laptiev A.B., Shpanev A.M. Weed vegetation in crop rotation and improved use of herbicides // Zemledelie. 2011. № 5. P. 45–48 (in Russian).

6. Тарчоков Х.Ш. Борьба с сорняками в посевах семенной кукурузы на орошении // Земледелие. 2014. № 5. С. 37–39.

Tarchokov H.S. Weed control in seed crops under irrigation // Zemledelie. 2014. № 5. P. 37–39 (in Russian).

7. Багринцева В.Н., Кузнецова С.В. Эффективность гербицидов на гибриде Машук 335 МВ и его родительских формах // Земледелие. 2011. № 2. С. 39–40.

Bagrintseva V.N., Kuznetsova S.V. Herbicides efficiency on maize hybrid Mashuk 335 MV and its parental forms // Zemledelie. 2011. № 2. P. 39–40 (in Russian).

8. Строков А.С., Макаров О.А., Марахова Н.А., Поташников В.Ю. Влияние почвенно-климатических факторов на урожайность основных сельскохозяйственных культур в муниципальных районах Белгородской области // Земледелие. 2019. № 6. С. 21–24.

Strokov A.S., Makarov O.A., Marakhova N.A., Potashnikov V.Yu. The influence of soil and climatic factors on the productivity of the main agricultural crops in the municipal regions of the Belgorod region // Zemledelie. 2019. № 6. P. 21–24 (in Russian).

9. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия

и агротехнологий. Методическое руководство / Под ред. В.И. Кирюшина, А.Л. Иванова. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. 794 с.

Kiryushin V.I., Ivanov L.A. Agroecological assessment of lands, designs of adaptive-landscape systems of agriculture and agricultural technologies. Methodical guide / Pod red. V.I. Kiryushina, A.L. Ivanova. M.: FGNU «Rosinformagrotex», 2005. 794 p. (in Russian).

10. Тарчоков Х.Ш. Мероприятия по борьбе с сорными растениями // В книге: Особенности адаптивно-ландшафтной системы земледелия Кабардино-Балкарской Республики. Нальчик: Принт-Центр, 2013. С. 144–149.

Tarchokov H.S. Measures to combat weeds // In the book: Features of the adaptive-landscape system of agriculture in the Kabardino-Balkarian Republic. Nalchik: Print-Center, 2013. P. 144–149 (in Russian).

11. Тарчоков Х.Ш. Системы обработки почвы // В книге: Особенности адаптивно-ландшафтной системы земледелия Кабардино-Балкарской Республики. Нальчик: Принт-Центр, 2013. С. 138–144.

Tarchokov H.S. Soil Processing Systems // In the book: Features of the adaptive-landscape farming system of the Kabardino-Balkarian Republic. Nalchik: Print-Center, 2013. P. 138–144 (in Russian).

12. Гостев А.В., Плотников В.А., Нитченко Л.Б. Повышение эффективности использования глубокорыхлителей // Материалы конференции «Актуальные проблемы земледелия и защиты почв от эрозии» (г. Курск, 13–15 сентября, 2017 г.). Курск: ООО «ТОП+», 2017. С. 106–113.

Gostev A.V., Plotnikov V.A., Nitchenko L.B. Improving the use of deep-rippers // Materials of the conference «Actual problems of agriculture and soil protection from erosion» (Kursk, September 13–15, 2017). Kursk: ООО «ТОР+», 2017. P. 106–113 (in Russian).

13. Юзбашев В.А. Особенности конструкции и тенденции развития чизельных орудий. М.: ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаш, 1977. 44 с.

Yuzbashev V.A. Features of the design and development trends of chisel guns. M.: TSNIITEI traktorosel'khozmash, 1977. 44 p. (in Russian).

СТАТЬИ

УДК 910.3

МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ С ПОЗИЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОРЫВА

Гатауллин Р.Ф., Сафиуллин Р.Г.

Институт социально-экономических исследований – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, e-mail: Gataullin.r2011@yandex.ru, SafiullinRG@yandex.ru

В работе рассматриваются модели развития полифункциональных территорий с позиции технологического прорыва. Цель, задачи и особенности пространственного социально-экономического развития страны определяют использование различных моделей территориальной организации общества. Модели развития полифункциональных территорий направлены на решение задач пространственного развития с учетом специфики объекта моделирования. В статье проведены анализ и оценка моделей развития полифункциональных территорий (городов, агломераций, регионов) с определением приоритетных территорий их использования в Российской Федерации. Использован сравнительный анализ и оценка зарубежного и отечественного опыта применения на практике различных моделей социально-экономического развития полифункциональных территорий. Предложены критерии оценки эффективности реализации рассмотренных моделей развития полифункциональных территорий. Выделены субъекты Российской Федерации, применительно к которым целесообразно использование рассмотренных моделей развития полифункциональных территорий: а) модель территориально-производственных комплексов может быть применена при активном государственном содействии в дальнейшем освоении уникальных природных ресурсов Восточной Сибири и Дальнего Востока; б) модель кластерного развития приоритетна для субъектов Центральной, Северо-Западной части и Урало-Поволжья; в) модель технополиса целесообразна для развитых субъектов Европейской части страны и крупных городских агломераций с хорошей научной базой; г) модель особых экономических зон является приоритетной для прграничных и приморских субъектов страны; д) модели развития проблемных (депрессивных) территорий и территорий опережающего развития целесообразно использовать в кризисных субъектах, городах прежде всего в Северо-Кавказском, Северном регионах и в азиатской части страны. В России в подходах к урегулированию вопросов территориальной эффективности социально-экономического развития присутствует эклектика моделей пространственного развития. Эти модели развития должны быть направлены на выравнивание территориальных контрастов и неравенства между городскими агломерациями, городами и сельскими муниципальными образованиями.

Ключевые слова: модели, полифункциональные территории, технологический прорыв, пространственное развитие, эффективность

MODEL DEVELOPMENT OF MULTIFUNCTIONAL AREAS FROM THE PERSPECTIVE OF A TECHNOLOGICAL BREAKTHROUGH

Gataullin R.F., Safiullin R.G.

Institute of social and economic research – a separate structural unit of the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Ufa Federal research center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, e-mail: Gataullin.r2011@yandex.ru, SafiullinRG@yandex.ru

The paper considers models of development of multifunctional territories from the position of technological breakthrough. The purpose, objectives and features of spatial socio-economic development of the country determine the use of different models of territorial organization of society. Models of development of multifunctional territories are aimed at solving the problems of spatial development taking into account the specifics of the modeling object. The article analyzes and evaluates models of development of multifunctional territories (cities, agglomerations, regions) with the definition of priority areas of their use in the Russian Federation. The comparative analysis and assessment of foreign and domestic experience of application in practice of various models of social and economic development of multifunctional territories is used. The comparative analysis and assessment of foreign and domestic experience of application in practice of various models of social and economic development of multifunctional territories is used. The criteria for evaluating the effectiveness of the considered models of development of multifunctional territories are proposed. Selected subjects of the Russian Federation in respect of which the appropriate use of considered models for the development of multifunctional territories: a) model clusters can be used with active state support in the further development of the unique natural resources of Eastern Siberia and the Far East; b) model of cluster development priorities for regions in the Central, North-Western and the Volga-Ural; C) the model of Technopolis is appropriate for developed subjects of the European part of the country and large urban agglomerations with a good scientific base; d) the model of special economic zones is a priority for the border and coastal subjects of the country; e) the model of development of problem (depressed) territories and territories of advanced development is advisable to use in crisis subjects, cities, primarily in the North Caucasus, Northern regions and in the Asian part of the country. In Russia, the approaches to the settlement of issues of territorial efficiency of socio-economic development present eclectic models of spatial development. These development models should aim to equalize territorial contrasts and inequalities between urban agglomerations, cities and rural municipalities.

Keywords: models, multifunctional areas, a technological breakthrough, spatial development, efficiency

Ввиду нарастающей территориальной дифференциации в уровне социально-экономического развития страны происходит постоянное совершенствование и изменение используемых пространственных моделей. Меняются и объекты, в отношении к которым применяются модели пространственного развития. В качестве объектов моделирования все в большей степени начинают выступать полуфункциональные территории в виде городов, агломераций, регионов. Для периода с 1991 по 2015 г. было характерно нарастание экономического и социального неравенства между субъектами Российской Федерации [1, с. 37].

Модели развития полифункциональных территорий направлены на решение задач пространственного развития с учетом специфики объекта моделирования. В статье проведены анализ и оценка моделей развития полифункциональных территорий (городов, агломераций, регионов) с определением приоритетных территорий их использования в Российской Федерации.

Материалы и методы исследования

Рассмотрены основные применявшиеся и применяющиеся модели развития полифункциональных территорий в России. Использован сравнительный анализ и оценка зарубежного и отечественного опыта применения на практике различных моделей социально-экономического развития полифункциональных территорий.

Результаты исследования и их обсуждение

В модели развития проблемных (депрессивных) районов главная цель состоит в том, чтобы найти возможные направления, методы и средства для преодоления состояния социально-экономического застоя, «…растущего уровня неравенства и экономической дестабилизации» [2, с. 17]. Эта модель применялась в период кризисов в 1930-е и 1970-е гг. в Великобритании и Германии. Для России данная модель актуальна для старопромышленных районов.

В теории диффузий нововведений процесс распространения инноваций состоит из трех составных частей: 1) генерация; 2) распространение; 3) принятие. Научные инновации и усовершенствования технологий концентрируются в крупных городах, что определяется наличием квалифицированных кадров, высоким уровнем образования и культуры, наличием и обменом большого массива информации, финансовой и инфраструктурной базой. Процесс распространения нововведений идет тем быстрее, чем выше уровень социально-экономического развития страны, что определяет уровень остроты территориальной конкуренции и инвестиционный потенциал.

Модель территориальных производственных комплексов (ТПК) была разработана в СССР в послевоенный период как инструмент ускоренного развития территорий за счет использования уникального и эффективного природно-ресурсного потенциала. К отличительным особенностям ТПК относятся:

– «экономическая взимосвязанность и взаимообусловленность предприятий;

– единство и компактность территории и общая инфраструктура;

– соответствие набора предприятий природным, экономико-географическим и транспортным условиям района;

– решение комплексом одной или нескольких общерегиональных или общегосударственных задач» [3, с. 11].

Модель формирования технополисов предусматривает обеспечение органического единства развития отраслей «высокой технологии будущего» и научных исследований. Центры технополисов – города – должны иметь экологически благоустроенные и комфортные жилые зоны.

Кластерная модель получила активное внедрение в странах мира в XXI в. Кластер определяют «…как группу географически и технологически взаимосвязанных конкурирующих предприятий и обслуживающих организаций, занимающих или способных занимать существенную долю на внутреннем и внешнем рынках, объединившихся с целью выпуска и реализации продукции или специализированных услуг, соответствующих мировым стандартам, на основе непрерывного инновационного процесса и взаимно способствующих росту конкурентоспособности друг друга» [3, с. 13].

Модель «особых экономических зон» (ОЭЗ). Первые ОЭЗ в России были созданы в конце 1990 – начале 1991 г. Однако ОЭЗ в основном создавались оффшорного типа, когда через них финансовые ресурсы выводились за границу. Особую негативную популярность «получили зоны экономического благоприятствования «Ингушетия», «Алтай» и «Калмыкия» [4, с. 231]. В связи с этим правительство Российской Федера-

ции в 2003 г. приняло решение о прекращении деятельности всех ОЭЗ в стране. В 2005 г. 22 июля был принят федеральный закон № 116-ФЗ «Об особых экономических зонах в Российской Федерации» с учетом предыдущего негативного опыта их функционирования в субъектах страны [5].

В современной России среди моделей территориального развития особую роль занимают модели развития депрессивных территорий, разновидностью которых являются территории опережающего развития (ТОР). Активное внедрение в практику территориального управления экономикой модели ТОР началось с 2015 г. ТОР – это небольшая территория, имеющая определенный общественно-финансовый и инновационный потенциал, который ожидается развить за счет повышения конкурентоспособности производств, благодаря налогово-льготным и административным режимам благоприятствования [6; 7, с. 17].

Разновидностью ТОР являются моногорода. В Российской Федерации на 12.02.2019 г. действует 99 ТОР, из них на территории Республики Башкортостан 5 городских поселений:

– г. Белебей;
– г. Кумертау;
– г. Нефтекамск;
– г. Белорецк;
– г. Благовещенск.

Существующие льготы по платежам в бюджеты всех уровней для ТОР даны в таблице.

Недостатком в проектировании ТОР является низкая проработанность их будущей специализации и небольшой объем инвестиций. Так, постановлением Правительства РФ от 12.02.2019 г. № 127 определено, что в течение первого года для включения юридического лица в реестр резидентов ТОР минимальный объем инвестиций каждого резидента составит 2,5 млн руб., число вновь созданных рабочих мест – 10 ед. [8].

С учетом сложившейся социально-экономической ситуацub в Республике Башкортостан следовало бы включить в проекты ТОР города Агидель, Туймазы, Октябрьский, Давлеканово, Бирск, Баймак, Сибай, Янаул.

По мнению Алекса Росса [2], принципиальный подход к решению проблемы развития депрессивных территорий включает:

а) обеспечение эффективного функционирование территориальных институтов управления;

б) первоочередное инфраструктурное развитие депрессивных территорий при ясности их перспектив в процессах глобализации;

в) территориальные стимулы как средство поддержания и развития депрессивных территорий.

Льготы для резидентов ТОР*

№ п/п	Виды льгот	Существующие ставки по платежам	Ставки для результатов ТОР	Срок действия льгот, лет
1	Налог на прибыль организаций в том числе в:			
	– Федеральный бюджет	3%	5%	первые 5 лет
	– Региональный бюджет	17%	10%	следующие 5 лет
2	Налог на имущество организаций	2,2%	0	следующие 10 лет
3	Страховые взносы в:	30% от ФОТ	7,6% от ФОТ	–
	– Пенсионный фонд	22,0% от ФОТ	6% от ФОТ	–
	– Фонд социального страхования	2,9% от ФОТ	1,5% от ФОТ	–
	– ФОМС	5.1% от ФОТ	6,1% от ФОТ	–
4	Земельный налог	0,3–1,5%	0	–
5	Понижающий коэффициент при расчете налога на добычу полезных ископаемых	–	0 0,2–1%	первые 2 года; с 3-го по 10-й год с пропорциональным возрастанием каждые 2 года на 0,2%
6	Понижение налоговой ставки для налогоплательщиков, использующих УСН	Доходы – 6%; Доходы – расходы 15%	Доходы – 2%; Доходы – расходы 5%	до 31.12.2021

Примечание. *Составлена по: [6].

В России проблема территориального неравенства доходов населения среди субъектов является наиболее актуальной. Как отмечают исследователи, «…по-прежнему самая напряженная ситуация, как и за все предыдущие годы, сохраняется на Северном Кавказе (Ингушетия – $259, Карачаево-Черкессия – $294, Кабардино-Балкария – $349 и Чечня – $380). Три проблемных региона выделялись в Сибирском федеральном округе: Тыва – $241, Алтай – $315 и Забайкальский край – $380. На Дальнем Востоке проблемной остается Еврейская АО – $401, а в Южном ФО – Калмыкия ($252). Для всех этих субъектов существенна хроническая бедность и низкий уровень социально-экономического развития. Безусловными лидерами являются Ямало–Ненецкий ($1230) и Ненецкий ($1208) АО, районы Крайнего Севера, в которых добывается более 90% российского природного газа и 6% нефти. К числу лидирующих регионов по среднедушевым денежным доходам населения относятся г. Москва, Московская область, г. Санкт-Петербург, Чукотский АО, Татарстан, Магаданская и Сахалинская области» [9, с. 311–312]. Реализация моделей развития полифункциональных территорий должна быть направлена на решение важнейшей проблемы бедности населения страны.

Рекомендуемые критерии оценки эффективности реализации рассмотренных моделей развития полифункциональных территорий:

– для модели развития проблемных (депрессивных) территорий – обеспечение роста занятости, снижения безработицы и роста реальных доходов населения за период не менее пяти лет;

– для модели ТПК – обеспечение освоения и переработки уникальных природных ресурсов для российского и мирового рынка потребления;

– для модели технополисов – обеспечение развития инновационных производств, научно-образовательной сферы и улучшение экологической ситуации за период не более пяти лет;

– для модели кластера – обеспечение развития производств, специализирующихся на совместном выпуске уникальных товаров и услуг, с формированием необходимой и достаточной сети обслуживающих видов деятельности (научной, финансовой, инвестиционной и др.);

– для модели ОЭЗ – обеспечение создания производств с высокооплачиваемыми рабочими местами и экспортная ориентированность в реализации товаров и услуг за период не менее пяти лет.

Субъекты Российской Федерации, применительно к которым целесообразно использование рассмотренных моделей развития полифункциональных территорий:

– модель ТПК может быть применена при активном государственном содействии в дальнейшем освоении уникальных природных ресурсов территорий Восточной Сибири (Красноярский, Забайкальский край, Иркутская область) и Дальнего Востока (Республика Саха – Якутия, Амурская область);

– модель кластерного развития приоритетна для субъектов Центральной, Северо-Западной части и Урало-Поволжья;

– модель технополиса целесообразна для развитых субъектов Европейской части страны (г. Москва, С.-Петербург) и крупных городских агломераций с хорошей научной базой (г. Казань, Нижний Новгород, Ростов-на-Дону, Самара, Пермь, Екатеринбург, Уфа, Челябинск, Новосибирск);

– модель ОЭЗ является приоритетной для пограничных и приморских субъектов страны – Мурманская, Смоленская, Брянская, Белгородская, Воронежская области, Республика Крым, Краснодарский, Приморский, Хабаровский края;

– модели развития проблемных (депрессивных) территорий и ТОР целесообразно использовать в кризисных субъектах, городах, прежде всего в Северо-Кавказском (Республики Дагестан, Чечня, Ингушетия, Северо-Осетинская, Кабардино-Балкарская, Карачаево-Черкесская), Северном регионах (Вологодская, Республика Коми) и в азиатской части страны (Республика Алтай, Чукотский край, Курганская, Магаданская области и др.).

Выводы

Стратегии социально-экономического развития субъектов федерации должны быть направлены на выравнивание территориальных контрастов и неравенства между городскими агломерациями, городами и сельскими муниципальными образованиями.

Это может быть обеспечено, во-первых, с помощью масштабной и эффективной социальной политики, которая достигается при реальном увеличении доходов населения, обеспечении роста внутреннего потребительского рынка и модернизации институтов управления.

Во-вторых, за счет стимулирования в менее развитых регионах зон роста (городских агломераций, городов и сельских муниципальных образований), обладающих конкурентными социально-экономическими и экологическими преимуществами.

В России в подходах к урегулированию вопросов территориальной эффективности социально-экономического развития присутствует эклектика моделей пространственного развития. Россия настолько разнообразна в территориальном отношении по природно-ресурсному потенциалу, уровню социально-экономического развития и экологическому состоянию, факторам и условиям развития субъектов, что и предопределяет необходимость использования различных моделей территориального развития.

Данное исследование выполнено в рамках государственного задания № 007-00256-18-01 ИСЭИ УФИЦ РАН на 2019 г.

Список литературы / References

1. Сафиуллин Р.Г., Сафиуллина Р.М. Эффективность территориального развития России: теория, реальность, проблемы. // Инновационные технологии управления социально-экономическим развитием регионов России: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. Ч. 2. Уфа, 2015. С. 37–47.

Safiullin R.G., Safiullina R.M. Effectiveness of territorial development of Russia: theory, reality, problems // Innovatsionnyye tekhnologii upravleniya sotsial'no-ekonomicheskim razvitiyem regionov Rossii: materialy VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ch. 2. Ufa, 2015. P. 37–47 (in Russian).

2. Росс А. Индустрия будущего. М.: Изд. АСТ, 2017. 287 с.

Ross A. Industry of the future. M.: Izd. AST, 2017. 287 p. (in Russian).

3. Гайнанов Д.А., Печаткин В.В., Сафиуллин Р.Г., Макова М.М., Гаймалова Т.Р., Ахметов Т.Р., Усов В.Ю. Формирование и развитие кластеров в регионе: теоретико-методологические и прикладные аспекты (на примере РБ). Уфа: ИСЭИ УНЦ РАН, 2009. 167 с.

Gainanov D.A., Pechatkin V.V., Safiullin R.G., Makova M.M., Gaimalova T.R., Ahmetov T.R., Usov V.J. Formation and development of clusters in the region: theoretical, methodological and applied aspects (on the example of Belarus). Ufa: ISEI UNTS RAN, 2009. 167 p. (in Russian).

4. Анимица Е.Г. Региональное управление. Екатеринбург: Изд. УГЭУ, 2010. 340 с.

Animitsa E.G. Regional management. Yekaterinburg: Izd. UGEU, 2010. 340 p. (in Russian).

5. Федеральный закон «Об особых экономических зонах в Российской Федерации» № 116-ФЗ от 22.07.2005 г. [Электронный ресурс]. URL: https://rg.ru/2005/07/27/ekonom-zony-dok.html (дата обращения: 18.11.2019).

Federal law «On special economic zones in the Russian Federation» № 116-FZ of 22.07.2005 [Electronic resource]. URL: https://rg.ru/2005/07/27/ekonom-zony-dok.html (date of access: 18.11.2019). (in Russian).

6. Федеральный закон «О территориях опережающего социально-экономического развития в Российской Федерации» № 473-ФЗ от 29.12.2014 г. [Электронный ресурс]. URL: https://rg.ru/2014/12/31/territorii-dok.html (дата обращения: 18.11.2019).

Federal Law «On Territories of Advancement of Socio-Economic Development in the Russian Federation» No. 473-FZ of 29.12.2014. [Electronic resource]. URL: https://rg.ru/2014/12/31/territorii-dok.html (date of access: 18.11.2019) (in Russian).

7. Кашина Н.В. Территории опережающего развития: новый инструмент привлечения инвестиций на Дальний восток России // Экономика региона. 2016. Т. 12. № 2. С. 569–585. DOI: 10.17059/2016-2-21.

Kashina N.V. Priority Development Areas: a New Tool for Attracting Investment in the Far East of Russia // Ekonomika regiona. 2016. V. 12. № 2. P. 569–585 (in Russian).

8. Постановление Правительства РФ от 12 февраля 2019 года № 127 «О создании территории опережающего социально-экономического развития «Благовещенск». [Электронный ресурс]. URL: http://rdocs3.cntd.ru/document/552378458 (дата обращения: 18.11.2019).

Resolution of the Government of the Russian Federation from February 12, 2019 № 127 «About creation of the territory of the advancing social and economic development» Blagoveshchensk». [Electronic resource]. URL: http://rdocs3.cntd.ru/document/552378458 (date of access: 18.11.2019) (in Russian).

9. Сафиуллин М.Р., Сафиуллина Р.М., Щербина И.В. Динамика географии бедности населения России за 2012–2018 годы // Социально-экономические и демографические аспекты реализации национальных проектов в регионе. X Уральский демографический форум. Том I. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2019. С. 310–316.

Safiullin M.R., Safiullina R.M., Shcherbina I.V. Dynamics of geography of poverty of the population of Russia for 2012–2018 // Sotsial'no-ekonomicheskiye i demograficheskiye aspekty realizatsii natsional'nykh proyektov v regione. X Ural'skiy demograficheskiy forum. V. I. Yekaterinburg: Institut ekonomiki UrO RAN, 2019. P. 310–316 (in Russian).

УДК 91:631.58:631.95

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ НАУЧНЫХ ОСНОВ РАЦИОНАЛЬНОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В СТЕПНЫХ И ЛЕСОСТЕПНЫХ РЕГИОНАХ РОССИИ В XVIII В. – ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XIX В.

Грошева О.А.

Институт степи Уральского отделения Российской академии наук – обособленное структурное подразделение ОФИЦ УрО РАН, Оренбург, e-mail: Groshev06@yandex.ru

В статье проведён анализ развития научных основ рационального ведения сельского хозяйства, создания и внедрения технологий неразрушительного землепользования в трудах классиков отечественного земледелия XVIII – первой половины XIX вв. Этот период в истории агрономической науки связан с деятельностью учёных-практиков М.И. Афонина, А.Т. Болотова, И.М. Комова, М.Г. Павлова, М.Г. Ливанова, В.А. Левшина, С.М. Усова и др., которые, используя передовой опыт ведущих европейских стран (Англии, Германии, Франции), проводили детальные исследования на своих опытных полях, развивали и совершенствовали приёмы и методы рационального землепользования, призывали действовать в содружестве с природой, умело избегая неблагоприятных последствий. Заслуга этих учёных-новаторов также состоит в широком распространении научных взглядов и сельскохозяйственных знаний, создании первых отечественных сельскохозяйственных журналов. Важную роль в консолидации агрономических исследований сыграло и Императорское Вольное экономическое общество, основанное в 1765 г. Отечественная агрономическая наука в XVIII в – первой половине XIX в. теоретически и практически в некоторых вопросах опережала западноевропейскую агрономию. Об этом свидетельствуют фундаментальный труд И.М. Комова «О земледелии», а также многочисленные научные работы А.Т. Болотова, М.И. Афонина, М.Г. Павлова и других отечественных естествоиспытателей, в которых раскрывались основы почвенного плодородия, разрабатывались способы повышения продуктивного земледелия и животноводства. Научное наследие агрономов-практиков XVIII в – первой половины XIX в. послужило основой для формирования учения о рациональном землепользовании в степных и лесостепных регионах России.

Ключевые слова: рациональное землепользование, научное наследие, агрономическая наука, М.И. Афонин, А.Т. Болотов, И.М. Комов, М.Г. Павлов

PECULIARITIES OF THE DEVELOPMENT OF THE SCIENTIFIC BASES OF RATIONAL LAND USE IN THE STEPPE AND FOREST-STEPPE REGIONS OF RUSSIA IN THE XVIII CENTURY – THE FIRST HALF OF THE XIX CENTURY

Grosheva O.A.

Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences OFRC UB RAS, Orenburg, e-mail: Groshev06@yandex.ru

The article analyzes the development of the scientific foundations of rational agriculture, the creation and implementation of non-destructive land use technologies in the works of the classics of domestic agriculture of the XVIII – the first half of the XIX centuries. This period in the history of agronomic science is associated with the activities of practical scientists M.I. Afonina, A.T. Bolotova, I.M. Komova, M.G. Pavlova, M.G. Livanova, V.A. Levshina, S.M. Usova et al., Who, using the best practices of leading European countries (England, Germany, France), conducted detailed research in their experimental fields, developed and improved methods and methods of rational land use, called for action in collaboration with nature, skillfully avoiding adverse effects. The merit of these innovative scientists is also the wide dissemination of scientific views and agricultural knowledge, the creation of the first domestic agricultural journals. An important role in the consolidation of agronomic research was played by the Imperial Free Economic Society, founded in 1765. Domestic agronomic science in the XVIII century – the first half of the XIX century. theoretically and practically in some issues ahead of West European agronomy. This is evidenced by the fundamental work of I.M. Komova «On Agriculture», as well as numerous scientific works of A.T. Bolotova, M.I. Afonina, M.G. Pavlov and other domestic naturalists, who revealed the basics of soil fertility, developed ways to increase productive agriculture and animal husbandry. The scientific heritage of agricultural practitioners of the XVIII century – the first half of the XIX century. served as the basis for the formation of the doctrine of rational land use in the steppe and forest-steppe regions of Russia.

Keywords: rational land use, scientific heritage, agronomic science, M.I. Afonin, A.T. Bolotov, I.M. Komov, M.G. Pavlov

Научные основы рационального использования земли в сельском хозяйстве формировались мировой научной мыслью на протяжении многих столетий и корректировались практикой землепользования. Предшествующими поколениями учёных-аграриев и практиков XVIII в. – первой половины XIX в. накоплен богатейший опыт развития сельскохозяйственного производства и рационального природопользования в лесостепных и степных регионах России.

XVIII столетие стало началом активного расширения границ Российской империи на юг и восток, осваивались новые земли на Дону, Северном Кавказе, в Поволжье и Причерноморье, Сибири. Сельскохозяй-

ственное производство как в старых земледельческих районах, так и во вновь освоенных регионах велось экстенсивным путём. Низкий уровень агротехники при трехпольном севообороте не позволял получать более 0,5–0,6 т/га зерновых.

В конце XVIII в. – начале XIX в. в связи с аграрной революцией в земледелии сначала в Англии, а потом в ряде стран Западной Европы (Германии и Франции) господствовавшая там паровая система земледелия (пар – озимые – яровые) стала заменяться на плодосменную (норфолкский севооборот). Основой плодосмена было интенсивное применение удобрений и глубокая обработка почвы, что способствовало росту средней урожайности пшеницы в Западной Европе с 0,7–0,8 т/га (XVIII в.) до 4,0 т/га (начало XX в.). В России на протяжении XVIII в. продолжает господствовать паровая система земледелия, и становится очевидным отставание российского сельскохозяйственного производства от европейского [1]. Это обусловило огромную важность появления в России в этот период агрономов-новаторов, способствующих своими исследованиями и научными работами развитию отечественной агрономической науки и формированию научных основ рационального землепользования.

Цель исследования: анализ развития научных основ рационального ведения сельского хозяйства, создания и внедрения технологий неразрушительного землепользования в трудах классиков отечественного земледелия XVIII – первой половины XIX вв.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужили опубликованные научные работы отечественных естествоиспытателей XVIII–XIX вв., а также современные источники, посвящённые рассматриваемому вопросу. Анализ развития научных основ рационального землепользования и устойчивого развития аграрных регионов России проведён на основе сравнительно-исторического метода.

Результаты исследования и их обсуждение

Развитие отечественной агрономической науки XVIII в. – начала XIX вв. связано с активной деятельностью учёных-практиков М.И. Афонина, А.Т. Болотова, И.М. Комова, М.Г. Павлова, М.Г. Ливанова, В.А. Левшина, С.М. Усова и др., которые, используя передовой агрономический опыт ведущих европейских стран (Англии, Германии, Франции), проводили детальные исследования на своих опытных полях, развивая и совершенствуя приёмы и методы рационального землепользования. Заслуга этих учёных-новаторов также состоит в широком распространении научных взглядов и сельскохозяйственных знаний.

Одним из центральных вопросов агрономических исследований рассматриваемого периода было сохранение почвенного плодородия. Первый профессор натуральной истории и земледелия Московского университета Матвей Иванович Афонин (1739–1810), ученик выдающегося шведского естествоиспытателя Карла Линнея, продолжатель идей М.В. Ломоносова, уделял особое внимание изучению плодородия степных почв. В работе «Слово о пользе знании, собирании и расположении чернозёма, особливо в хлебопашестве», опубликованной в 1771 г., он подчёркивал, что «изобильной добротой» и «плодоностью» чернозём «превосходит все прочие роды земли». Своими исследованиями Матвей Иванович создавал основу для зарождения и развития В.В. Докучаевым во второй половине XIX в. учения «о царе русских почв» – чернозёме и приёмах его сохранения.

Анализируя результаты своих агрономических опытов, М.И. Афонин обосновал и рекомендовал к внедрению передовые для XVIII столетия агротехнические приёмы, применение которых спустя два века остаётся также актуальным в земледельческих регионах России: бороздование полей для предотвращения смыва верхнего плодородного слоя почв; прикатывание вспаханного поля; проведение многократной зяблевой обработки почвы, «для великого подкрепления и удержания её силы или способности к хлебородию», а также с целью уничтожения сорной растительности и сохранения влажности почвы [2].

Матвей Иванович обращал внимание на необходимость изучения параметров плодородия почв каждого отдельного участка пашни в разных почвенно-климатических регионах России. Инвентаризация земель государства, воплотившаяся в современных условиях в земельный кадастр государства, по мнению М.И. Афонина, должна строиться на основе составления «паспорта» каждого земельного участка с обязательным указанием его качественных характеристик.

Идеи ведения рационального неистощительного степного природопользования

содержатся и в работах другого прогрессивного учёного-практика, ботаника, лесовода и агронома – Андрея Тимофеевича Болотова (1738-1833). Используя многолетний крестьянский опыт и собственные знания, он организовал передовое по тем временам хозяйство по производству сельскохозяйственной продукции в родовом имении с. Дворяниново Тульской губернии, затем был назначен управителем Киясовской и Богородицкой волостей, принадлежащих Екатерине II. Будучи новатором агрономической науки, Андрей Тимофеевич внедрял прогрессивные идеи преобразования сельского хозяйства, совмещая получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур и экологическую оптимизацию агроландшафтов.

Программа первоочередных исследований в области земледелия и агротехнологий, разработанная А.Т. Болотовым, включала широкий круг вопросов: создание руководства по агротехнике, изучение свойств почв, систематизацию приёмов улучшения земель, учёт своевременности и пропорциональности удобрения полей, совершенствование приёмов подготовки земель и семян к посеву и др. Андрей Тимофеевич указал на два главных препятствия, мешающих успешному земледелию: «крайнее невежество наших земледельцев» и отсутствие собственности у крестьян. По его мнению, одним из важнейших вопросов сельского хозяйства является «соблюдение должной пропорции между скотоводством и хлебопашеством [3, с. 121].

А.Т. Болотов обладал редкой научной проницательностью, понимая многие закономерности природы и экономический смысл рационального землепользования. В статье «Примечания о хлебопашестве вообще», опубликованной в трудах Вольного экономического общества в 1768 г., он за сто лет до работ основателя научного почвоведения В.В. Докучаева приходит к выводу, что первым важным делом земледелия является «разбирание свойств и качеств земли». Несмотря на отсутствие химического анализа почв, Андрей Тимофеевич делает важное заключение, что «между землями, одинаковый наружный вид имеющими, уже великая разница бывает» [3, с. 140].

А.Т. Болотову принадлежит приоритет в разработке теории севооборота, которую он изложил в своих работах «О земледелии» (1771) и «О разделении полей» (1771), дав обоснование севооборота как системы мероприятий, включающей приёмы обработки почвы, применения удобрений, борьбы с сорняками, повышения плодородия почв. Также, учёный-новатор представил агротехническое и экономическое обоснование замены трёхпольного (парового) севооборота многопольными (в частности, семипольными), с обязательным включением в них многолетних трав. Для севооборота А.Т. Болотов разработал специальные таблицы (современные «Ротационные таблицы») и ввёл «Полевую экономическую тетрадь» (современная «Книга истории полей») [3].

Многие научные идеи Андрея Тимофеевича не потеряли своего значения и в наше время. Для борьбы с эрозией он применял посевы многолетних трав в сочетании с водоотводными бороздами и канавами, был сторонником мелкой зяблевой безотвальной вспашки под яровые культуры, открытой вновь в XX в. Т.С. Мальцевым.

А.Т. Болотов впервые в России предложил определять приёмы возделывания культурных растений, исходя из местных природных условий (прежде всего, погоды и почвы). Он разработал принципы лесопользования и лесоразведения – «рубления, поправления и заведения лесов», составил первое русское ботаническое описание сорных, лекарственных и культурных растений.

В своей работе «Об удобрении полей» (1770) Андрей Тимофеевич высказывает, в противовес представлениям Я. Гельмонта о питании растений водой, идеи о воздушном и минеральном питании растений, которые в полной мере были сформулированы и развиты спустя почти 200 лет агрохимиком Д.Н. Прянишниковым. А.Т. Болотов придавал большое значение местным удобрениям – навозу, золе, извести, тине, листве, предлагая запахивать сидераты (горох, чечевицу, гречиху) для восстановления плодородия почв.

Не менее важны заслуги А.Т. Болотова в популяризации своих знаний путём публикации статей и учреждением первых отечественных сельскохозяйственных журналов – «Сельский житель» (1778–1779) и «Экономический магазин» (1780–1789), которые стали «площадкой для обмена мнениями по вопросам сельского хозяйства» [4, с. 134].

Андрея Тимофеевича можно по праву назвать основоположником отечественной агроэкологии. Его опыты по использованию всех видов органических отходов, которые могли разложиться в почве (перегнивший дерн, пищевые отходы и др.), носили

ярко выраженный экологический характер, в наши дни это проблема государственного масштаба. А.Т. Болотов призывал использовать природу, не нанося ей ущерба, действуя в содружестве с ней, умело избегая неблагоприятных последствий.

Среди классиков отечественного земледелия важное место занимает Иван Михайлович Комов (1750–1792). Один из основателей агрономической науки, участник и руководитель (после смерти С.Г. Гмелина) академической экспедиции по Прикаспийскому региону, 8 лет изучавший сельское хозяйство в Англии, в том числе «норфолкскую систему земледелия» у знаменитого агронома и экономиста Артура Юнга, по возвращению на Родину выпускает книгу «О земледельческих орудиях» (1785). В ней И.М. Комов, описывая земледельческую технику Англии (например, использование плуга с железным лемехом) и оценивая её пригодность для условий России, отмечал отсталость отечественного сельскохозяйственного производства в техническом вооружении. Это исследование и в наш век научно-технического прогресса не потеряло своей актуальности.

Работая на должности главного агронома Московской губернии, Иван Михайлович с увлечением читает крестьянам лекции о хлебопашестве и передовым методам хозяйствования, проводит научные опыты в селе Александровском по борьбе с сорняками и головней пшеницы. Вся эта многогранная деятельность И.М. Комова стала подготовительной к главному труду его жизни – книге «О земледелии» (1788), в которой он соединил богатый зарубежный опыт и отечественную практику ведения сельскохозяйственного производства с оригинальностью и смелостью мыслей, научной эрудицией и популяризацией знаний [5]. Эта работа стала первым отечественным практическим руководством по общему земледелию и агротехнике важнейших сельскохозяйственных культур и самым крупным и оригинальным трудом XVIII столетия по сельскому хозяйству, отражающим самобытность развития русской агрономической науки.

Возражая против распространенного мнения о том, что в России слишком суровые природные условия, И.М. Комов отмечает, что «мы почти все европейские климаты имеем», и нет такого растения в Европе, которое «в южных или северных провинциях» России не могло бы расти. И в этом плане особую роль, по мнению учёного, играет обмен опытом земледелия, перенимать который «не только не стыдно, но и славно». Подчёркивая важность севооборотов, И.М. Комов посвящает им в своей книге целый раздел, снабжённый таблицами. Иван Михайлович, критикуя недостатки паровой трёхпольной системы, предлагает другие, по сравнению с А.Т. Болотовым, варианты шестипольных плодосменных севооборотов, которые учитывали агротехнические и экономические аспекты земледелия, а также рекомендует оптимальное соотношение между зерновыми и кормовыми культурами. Как настоящий агроном-практик, Комов советует начинать делать опыты на небольших участках и, не полагаясь на однократный опыт, «повторять его многократно, пока совершенно не уверишься» [6, с. 20].

Несомненно новаторство Ивана Михайловича Комова в создании основ гумусовой (или перегнойной) теории питания растений. Важнейшим материалом для питания растений он считал достаточно разложившийся перегной, предлагая вносить навоз на поля.

В научной работе И.М. Комова «О земледелии» (1788) были сформулированы задолго до работ А. Тэера основы теории питания растений. Этому вопросу посвящён в книге целый раздел «О питательном соке». Связывая с наличием перегноя важнейшие водно-физические свойства почвы и богатство её питательными веществами, Иван Михайлович тем самым заложил начало гумусовой теории питания растений. При этом И.М. Комов правильнее А. Тэера представлял роль воздуха в общем цикле превращений питательных веществ и точнее объяснял двусторонность питания растений. Делая вывод о том, что «воздух – отец растений», Иван Михайлович отмечал, что «питательное вещество растений и животных беспрестанно то с земли на воздух подымается, то паки на землю спускается» [6, с. 122], тем самым устанавливая круговорот «воздушных питательных веществ».

Огромное значение И.М. Комов придавал удобрению почвы. Кроме навоза учёный предлагал, как и А.Т. Болотов, использовать самые различные вещества: кости, шерсть, солому, листья, опилки и др. Из неорганических удобрений Иван Михайлович называет песок, меловую глину, мел, известковый камень, соль и другие, «кои хотя сами бесплодны, но смесяся с землею, делают её плодоносну» [6, с. 172]. И.М. Комов даёт практические советы о хранении и использовании удобрений, предупреждая

о необходимости правильного их применения в определённых количествах, выбирая для этого «пристойную землю».

Убежденным сторонником гумусовой теории питания растений был экстраординарный профессор Московского университета Михаил Григорьевич Павлов (1792–1840). Передовые для того времени взгляды на питание растений он изложил, опираясь на достижения физики, химии и биологии. Своей работой «Земледельческая химия» (1825) Михаил Григорьевич заложил научные основы новой науки – агрономической химии. Определяя земледельческую химию как науку «о веществе тех исключительно предметов, которые имеют отношение к Земледелию и знание вещества коих может руководствовать к выгоднейшему устройству производств сего искусства» [7, с. V–VI], М.Г. Павлов последовательно исследует качество и количество веществ, их изменяемость и улучшение в почвах, растениях и животных. В учении М.Г. Павлова чётко просматривается взаимосвязь почвы, растения и удобрения, что в дальнейшем стало основополагающим в современной агрономической химии и было продолжено в трудах Д.И. Менделеева, А.Н. Энгельгардта, А.Е. Зайкевича, П.А. Костычева, К.А. Тимирязева и Д.Н. Прянишникова [8]. Оставаясь сторонником преобладания гумуса в питании растений, М.Г. Павлов внёс свой вклад в развитие нового направления – минерального питания растений.

Работая в Московском университете, М.Г. Павлов сочетал в себе лучшие качества исследователя – энциклопедического учёного, практика и учителя. Всю жизнь он трудился над распространением агрономических знаний: разработал первый в России полный университетский курс сельского хозяйства, издавал два агрономических журнала «Антей» (1828–1830) и «Русский земледелец» (1838–1839), при участии Михаила Григорьевича были созданы Петербургская школа сельского хозяйства, опытное поле в усадьбе Нагорново, где в летнее время учащиеся Земледельческой школы практиковались в обработке почвы, внедрении севооборотов и внесении удобрений. Благодаря его активной педагогической и организационной деятельности сложилась Русская агрономическая школа, а «Курс сельского хозяйства» (1837) долгое время служил практическим руководством для многих поколений агрономов.

Во второй половине XIX в. в связи с обострением экологического кризиса природопользования в степной зоне происходит значительная активизация поиска оптимальных стратегий устойчивого развития черноземных регионов России. Важнейшие научные центры этого периода связаны с именами В.В. Докучаева, А.А. Измаильского, П.А. Костычева, А.Н. Энгельгардта, И.А. Стебута, Н.М. Сибирцева, В.Р. Вильямса и др., которые в первую очередь основывались на научных разработках своих предшественников, включая М.И. Афонина, А.Т. Болотова, И.М. Комова, М.Г. Павлова [9, 10].

Заключение

Русская агрономическая мысль, начав формироваться в начале XVIII в. трудами М.В. Ломоносова, В.Н. Татищева, А.Н. Радищева, П.И. Рычкова, продолжилась к концу века плеядой агрономов-новаторов М.И. Афонина, А.Т. Болотова, И.М. Комова, М.Г. Павлова и др. Разносторонняя их деятельность позволила в дальнейшем апробировать и обосновать переход к более прогрессивным системам земледелия – многопольной, плодосменной и выгонной (многопольно-травяной), продолжить изучение органического вещества почвы (гумуса), закрепить как главенствующую теорию минерального питания растений, усилить внимание к многолетним травам.

Отечественная агрономическая наука XVIII в. – первой половины XIX в. была самобытной, теоретически и практически она в некоторых вопросах опережала западноевропейскую агрономию. Об этом свидетельствуют фундаментальный труд И.М. Комова «О земледелии», а также многочисленные научные работы А.Т. Болотова, М.И. Афонина, М.Г. Павлова, С.М. Усова и других отечественных естествоиспытателей, в которых раскрывались основы почвенного плодородия, разрабатывались способы повышения продуктивного земледелия и животноводства. Научное наследие агрономов-практиков XVIII в. – первой половины XIX в. послужило основой для формирования учения о рациональном землепользовании в степных и лесостепных регионах России, став классикой отечественной агрономии.

Статья подготовлена по теме НИР Института степи УрО РАН: «Степи России: ландшафтно-экологические основы устойчивого развития, обоснование природоподобных технологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды», № ГР АААА-А17-117012610022-5.

Список литературы / References

1. Кирюшин В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов: монография. М.: КолосС, 2011. 443 с.

Kiryushin V.I. The theory of adaptive landscape farming and the design of agrolandscapes: monograph. M.: KolosS, 2011. 443 p. (in Russian).

2. Егоров В.С. Матвей Иванович Афонин // Проблемы агрохимии и экологии. 2009. № 1. С. 60-62.

Egorov V.S. Matvey Ivanovich Afonin // Problemy agroximii i ekologii. 2009. № 1. P. 60–62 (in Russian).

3. Болотов А.Т. Избранные труды. М.: Агропромиздат, 1988. 414 с.

Bolotov A.T. Selected Works. M.: Agropromizdat, 1988. 414 p. (in Russian).

4. Веселова А.Ю. Журналы А.Т. Болотова «Сельский житель» и «Экономический магазин»: история издания // Вестник Московского университета. Серия 10: Журналистика. 2017. № 5. С. 124–150.

Veselova A.Yu. A.T. Bolotov's Journals Selsky Zhitel and Economichesky Magazin: the History of Their Publication // Vestnik moskovskogo universiteta. Seriya 10: Zhurnalistika. 2017. № 5. P. 124–150 (in Russian).

5. Едемская Н.Л. Вклад Ивана Михайловича Комова в развитие отечественного земледелия // Проблемы агрохимии и экологии. 2010. № 2. С. 61–62.

Edemskaya N.L. Contribution of Ivan Mikhailovich Komov to the development of domestic agriculture // Problemy agroximii i ekologii. 2010. № 2. P. 61–62 (in Russian).

6. Комов И.М. О земледелии / Писано Иваном Комовым, коллежским ассессором, Московскаго директора економии помощником, земледелия и других наук профессором, Вольнагоекономическаго и Батскаго для ободрения земледелия рукоделий и торгов учрежденнаго общества членом. М.: Тип. Пономарева, 1788. VIII. 378 с.

Komov I.M. About farming / Pisano Ivanom Komovy`m, kollezhskim assessorom, Moskovskago direktora ekonomii pomoshhnikom, zemledeliya i drugix nauk professorom, Vol`nagoekonomicheskago i Batskago dlya obodreniya zemledeliya rukodelij i torgov uchrezhdennago obshhestva chlenom. M.: Tip. Ponomareva, 1788. VIII. 378 p. (in Russian).

7. Павлов М.Г. Земледельческая химия с предварительным изложением к сей части и ко всей науке сельского хозяйства приготовленных сведений из известных наук с показанием различных способов землеудобрения и с начертанием правил пахания. М.: В Типографии С. Селивановскаго, 1825. 456 с.

Pavlov M.G. Agricultural chemistry with a preliminary presentation to this part and to the whole science of agriculture prepared information from known sciences with an indication of various methods of fertilization and with the drawing of the rules of plowing. M.: V Tipografii S. Selivanovskago, 1825. 456 p. (in Russian).

8. Минеев В.Г. Зарождение и развитие агрохимии в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова // Проблемы агрохимии и экологии. 2013. № 4. С. 5–10.

Mineev V.G. The Initiation and Development of Agrochemistry in Moscow State University // Problemy agroximii i ekologii. 2013. № 4. P. 5–10 (in Russian).

9. Чибилёв А.А., Грошева О.А. Наследие естествоиспытателей XVIII–XX веков как основа развития степеведческих научных школ // Аридные экосистемы. 2010. Т. 16. № 4 (44). С. 15–24.

Chibilyov A.A., Grosheva O.A. Scientific heritage of the XVIII–XX-th centuries – as a basis for development of steppe scientific schools // Aridnye ekosistemy. 2010. V. 16. № 4 (44). P. 15–24 (in Russian).

10. Романенко Г.А. Вклад учёных в развитие сельского хозяйства России // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. № 4. С. 3–6.

Romanenko G.A. The contribution of scientists to the development of agriculture in Russia // Selskoxozyajstvennye mashiny i texnologii. 2014. № 4. P. 3–6 (in Russian).

УДК 910(729.74)

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ И ОЦЕНКА ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ГВАДЕЛУПЫ СРЕДСТВАМИ ГИС

[1]Иванова А.А., [1,2]Асташин А.Е., [1]Аракчеева О.В.

[1]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени К. Минина», Нижний Новгород, e-mail: o.v.arakcheeva@rambler.ru;

[2]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», Княгинино, e-mail: astashinfizgeo@yandex.ru

Статья посвящена выявлению особенностей пространственной организации туристских ресурсов и инфраструктуры заморской территории Франции, департамента Гваделупа, средствами ГИС. В ходе работы производилась оценка туристских ресурсов и туристской инфраструктуры региона с помощью пространственного анализа. При анализе туристско-рекреационных возможностей региона сбор и анализ информации проводится по трём блокам: природные условия и объекты; социально-экономические условия и объекты историко-культурного наследия; объекты туристской инфраструктуры. Объекты природного наследия представлены сетью ООПТ: национальный парк Бас-Терр, дендропарк и ботанический сад. Объекты историко-культурного наследия представлены археологическими объектами, объектами архитектуры (башни, мемориалы, городские ратуши, замок). Наибольшая концентрация объектов историко-культурного наследия отмечена в районе города Пуэнт-а-Питр и в окрестностях города Бас-Терр. В ходе инвентаризации туристских ресурсов и туристской инфраструктуры островного заморского департамента Гваделупа были собраны количественные показатели обеспеченности территории Гваделупы объектами инфраструктуры и туристскими ресурсами, построены тематические и интегральные картосхемы и теплокарты, отражающие расположение и плотность концентрации объектов туристского интереса и инфраструктуры туризма. Итогом геоинформационного пространственного анализа туристских ресурсов и туристской инфраструктуры Гваделупы стала интегральная карта плотности концентрации объектов туристского интереса и инфраструктуры туризма. Рассмотрены государственные программы по развитию региона, имеющие отношение к туриндустрии: обустройство береговой линии, развитие транспортной сети, профессиональное обучение кадров, задействованных в сфере туризма. По результатам исследования были выявлены наиболее развитые в туристском отношении районы, а также области с наибольшей концентрацией туристских объектов.

Ключевые слова: туристско-рекреационные ресурсы, географические информационные системы, инвентаризация туристских ресурсов, Заморские территории Франции, Гваделупа, туристско-рекреационный потенциал, пространственный анализ территории

INVENTORY AND THE ASSESSMENT OF THE TOURIST-RECREACTIONAL RESOURCES OF GUADELOUPE WITH GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

[1]Ivanova A.A., [1,2]Astashin A.E., [1]Arakcheeva O.V.

[1]Nizhny Novgorod State Pedagogical University named after K. Minin, Nizhny Novgorod, e-mail: o.v.arakcheeva@rambler.ru;

[2]Nizhny Novgorod State University of engineering and Economics, Knyaginino, e-mail: astashinfizgeo@yandex.ru

Abstract: the article is devoted to identifying the features of the spatial organization of tourist resources and infrastructure of the overseas territory of France, the Department of Guadeloupe, using GIS. During the work, tourism resources and tourism infrastructure of the region were estimated using spatial analysis. When analyzing the tourist and recreational opportunities of the region, the collection and analysis of information is carried out in three blocks: natural conditions and objects, socio-economic conditions and objects of historical and cultural heritage and objects of tourist infrastructure. Natural heritage sites are represented by the network of protected areas. Objects of historical and cultural heritage are represented by archaeological objects, objects of architecture. The greatest concentration of objects of historical and cultural heritage was noted in the area of Pointe-a-Pitre and in the vicinity of the city of Bas-Terre. During the inventory of tourist resources and tourist infrastructure of the island overseas department of Guadeloupe, quantitative indicators of the provision of Guadalupe territory with infrastructure facilities and tourist resources were collected, thematic and integrated maps and heat maps were constructed that reflect the location and concentration density of objects of tourist interest and tourism infrastructure. The result of geo-informational spatial analysis of tourist resources and tourist infrastructure of Guadeloupe was an integrated map of the concentration density of objects of tourist interest and tourism infrastructure. The state programs for the development of the region related to the tourism industry are considered. According to the results of the study, the most developed tourist areas were identified, as well as the areas with the highest concentration of tourist sites.

Keywords: tourist and recreation resources, geographic information system, inventory of tourist resources, Overseas territories of France, tourist and recreation potential, spatial analysis of territory

Франция является самой посещаемой туристами страной мира, туризм является одной из наиболее стремительно развивающихся и значимых отраслей её экономики, а туристские ресурсы – важнейшей частью национального достояния [1]. Туризм выступает катализатором социально-экономического развития страны. В свою очередь,

на развитие туризма и рекреационной деятельности влияют климат, водные ресурсы, экологическая обстановка, исторические, религиозные и политико-правовые условия.

Согласно статистическим данным, в 2017 г. Франция сохранила своё безоговорочное лидерство по количеству посещений с туристскими целями с отметкой в 86,9 млн чел., на долю туризма пришлось 7,2% ВВП Французской Республики. Из каждых 10 поездок во Франции, 9 приходится на её континентальную часть (метрополию), 1 – на заморские территории. Таким образом, визиты на зависимые территории Франции (её островные департаменты за исключением о. Корсика, который имеет принадлежность к материку), составляют примерно 10% от общего числа туристских посещений страны [2].

По данным Федерального агентства по туризму в России, за 2017 г. с целью туризма Францию посетила 471 тысяча российских граждан, что на 19,74% больше по сравнению с аналогичным периодом (январь – декабрь) за 2016 г. Данный показатель занимает 23 место в рейтинге наиболее популярных туристских направлений у россиян [3].

В статистике посещений туризма во Франции существенное значение имеют её зависимые территории. Обладая благоприятными для развития туризма условиями, эти районы ориентированы на туристов, предпочитающих отдых на пляжах морских и океанических побережий. В качестве территории для оценки уровня развития туризма и рекреации нами была выбрана Гваделупа, как типичный островной заморский департамент Франции.

Цель исследования: проведение инвентаризации и оценки туристских ресурсов Заморских территорий Франции (на примере Гваделупы) с помощью геоинформационных систем.

Методы исследования: анализ литературы; картографический; описательный; геоинформационный; статистический; географического районирования.

ГИС применяют практически во всех сферах деятельности – будь то анализ глобальных проблем – перенаселение, стихийные бедствия, экологические катастрофы, либо решение частных задач, таких как поиск наилучшего или наикратчайшего маршрута между пунктами, проектирование и строительство коммуникаций, реализация управленческих решений на местах. Социальный заказ современного общества требует подготовки специалистов, обладающих информационно-коммуникационной компетентностью, способных повлиять на ход принятия управленческих решений, придать профессиональной деятельности инновационный характер [4].

Инвентаризация туристско-рекреационных ресурсов предполагает установление наличия, а также выявление и определение количественных и качественных характеристик объектов туристского интереса определённой территории с точки зрения возможности их вовлечения в туристскую деятельность.

ГИС видятся эффективным инструментом проведения пространственного туристско-рекреационного анализа, обладающим возможностями пространственного отображения и визуализации материальных объектов, процессов, их характеристик, а также синтеза новых данных (плотность точечных объектов, густота сети линейных объектов, анализ близости, расчёт статистических пространственных данных и пр.). Эти возможности ГИС позволяют получить инструментально-информационную базу для достоверного проектирования нового туристского продукта и повысить эффективность функционирования туристской сферы с учётом экологических, социальных, экономических и других ограничений и возможностей территории – то есть обеспечить устойчивое развитие отрасли в регионе.

Результаты исследования и их обсуждение

Традиционно при анализе туристско-рекреационных возможностей региона сбор и анализ информации проводится по трём блокам: природные условия и объекты, социально-экономические условия и объекты историко-культурного наследия и объекты туристской инфраструктуры. Рассматривая территорию Гваделупы, мы придерживаемся этой же логики.

Природные условия и объекты. Гваделупа расположена в тропической климатической зоне, характеризующейся мягкой тёплой погодой в течение всего года со средней температурой летом +26°; +28°, а в зимний период (декабрь – февраль) +23°; +26° [5]. Объекты природного наследия представлены сетью ООПТ: национальный парк Бас-Терр (в центральной части острова), дендропарк и ботанический сад [6]. Важнейшим фактором развития туризма является выход к Атлантическому

океану и Карибскому морю и наличие широкой пляжной полосы.

Социально-экономические условия и объекты историко-культурного наследия. Объекты историко-культурного наследия представлены археологическими объектами, объектами архитектуры (башни, мемориалы, городские ратуши, замок). В целом объекты историко-культурного наследия приурочены к населённым пунктам, тяготеющим, в свою очередь, к морским побережьям. Наибольшая концентрация объектов историко-культурного наследия отмечена в районе города Пуэнт-а-Питр, стоящего на перешейке, и в окрестностях города Бас-Терр, что объясняется благоприятным для заселения территории рельефом, предопределившим структуру расселения населения, а также наличием выхода к морю (рис. 1).

В составе средств размещения представлены отели, хостелы, гостевые дома, мини-отели и места для кемпинга, особенности пространственной организации также определяются тяготением к городам (рис. 2).

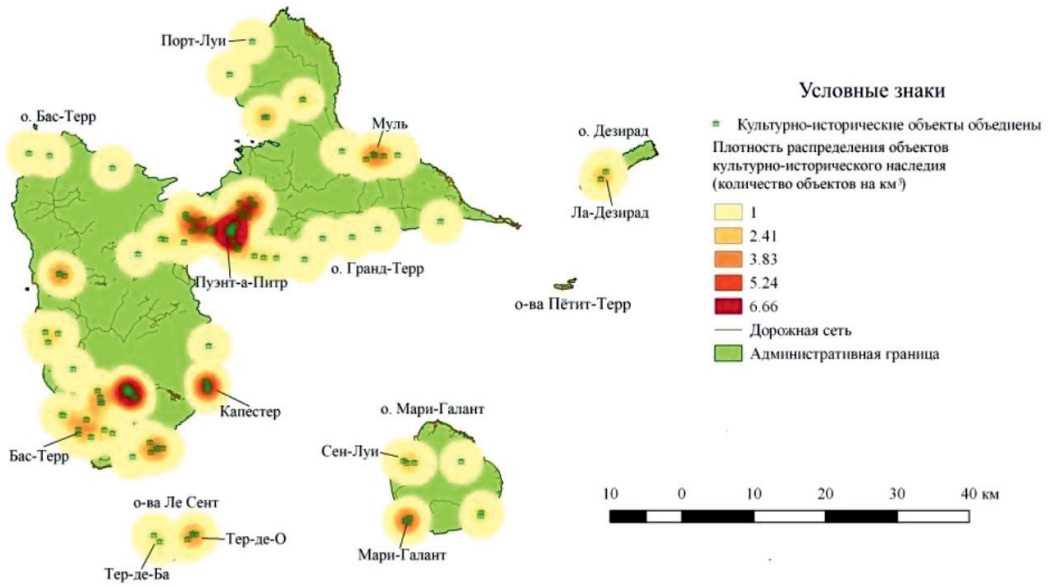


Рис. 1. Теплокарта объектов культурно-исторического наследия Гваделупы

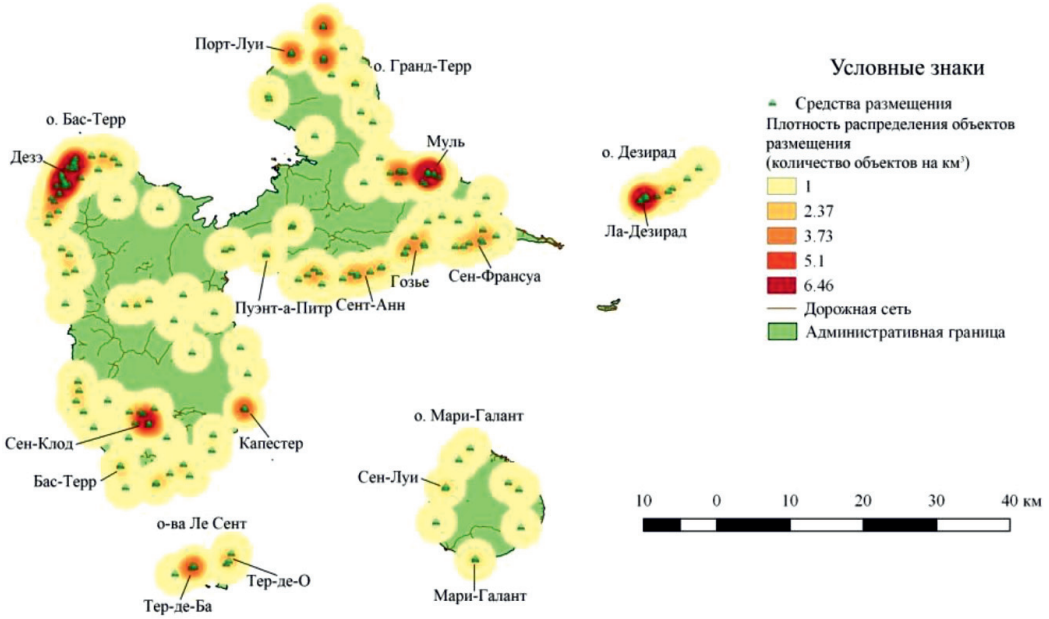


Рис. 2. Теплокарта средств размещения Гваделупы

Транспортная инфраструктура представлена аэропортами, автомобильными дорогами главного и второстепенного типов. Объекты индустрии питания представлены сетью ресторанов, в том числе ресторанов быстрого питания, барами и пабами.

Объекты индустрии развлечений представлены театрами, кинотеатрами, музеями, парками, ночными клубами и художественными центрами, а также смотровыми площадками.

В ходе инвентаризации туристских ресурсов и туристской инфраструктуры островного заморского департамента Гваделупа были собраны количественные показатели обеспеченности территории Гваделупы объектами инфраструктуры и туристскими ресурсами (таблица), построены тематические и интегральные картосхемы и теплокарты, отражающие расположение и плотность концентрации объектов туристского интереса и инфраструктуры туризма. Итогом геоинформационного пространственного анализа туристских ресурсов и туристской инфраструктуры Гваделупы стала интегральная карта плотности концентрации объектов туристского интереса и инфраструктуры туризма (рис. 3).

Основным центром концентрации туристских ресурсов и объектов туристской инфраструктуры является перешеек между двумя главными островами департамента Бас-Терр и Гранд-Терр в районе города Пуэнт-а-Питр. Данный городской округ лидирует по показателю развития туристской инфраструктуры.

Количественные показатели обеспеченности территории Гваделупы объектами инфраструктуры и туристскими ресурсами

Природные объекты		
Тип	Характеристика	
Особо охраняемая природная зона	Количество	Площадь
	2	Общая ООПТ 672,5 га
Национальный парк	1	
Культурно-исторические объекты (кол-во шт.)		
Археологические объекты	10	
Замок	1	
Руины	10	
Башни	20	
Памятники	40	
Городские ратуши	14	
Произведения искусства	25	
	Итого: 120	
Инфраструктура средств размещения (кол-во шт.)		
Отели	36	
Хостелы	17	
Гостевые дома	34	
Мини-отели	67	
Места для кемпинга	46	
	Итого: 200	
Инфраструктура индустрии питания (кол-во шт.)		
Рестораны	215	
Бары	24	
Рыбные рестораны	4	
Рестораны быстрого питания	62	
Пабы	14	
	Итого: 319	
Инфраструктура развлечений (кол-во шт.)		
Театры	8	
Кинотеатры	9	
Музеи	33	
Парки	16	
Смотровые площадки	103	
Художественные центры	21	
Ночные клубы	8	
	Итого: 198	

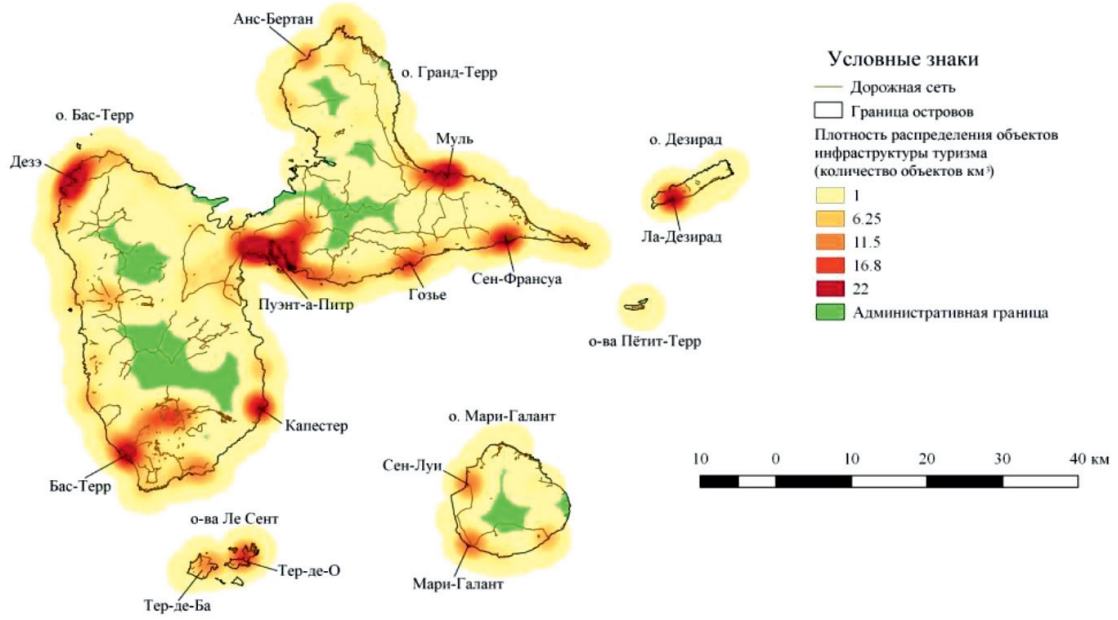


Рис. 3. Интегральная карта концентрации объектов туристского интереса и инфраструктуры туризма Гваделупы [7–9]

Несколько уступают по концентрации туристских ресурсов и объектов туристской инфраструктуры города Муль и Дезэ, расположенные на восточном и западном побережьях соответственно. Это сравнительно крупные населённые пункты, чем объясняется развитая транспортная инфраструктура, а также большее количество объектов общественного питания и индустрии развлечений [10].

Интегральная теплокарта туристских ресурсов и инфраструктуры туризма Гваделупы отражает тяготение основной полосы расселения и элементов индустрии туризма к прибрежным зонам и демонстрирует их отсутствие в центральных частях островов (рис. 3).

Островной территории доступны не все виды транспорта (отсутствует железнодорожный). Объекты индустрии средств размещения, питания и развлечений развиты сравнительно хорошо. Отчётливо выражено явное пространственное тяготение элементов инфраструктуры и объектов историко-культурного наследия к приморским районам; центральная часть острова Бас-Терр по причине горного рельефа исторически осваивалась слабее и имеет сравнительно скромный перечень объектов историко-культурного наследия. Индустрия общественного питания и размещения, ввиду удалённости от пляжей и сравнительно низкой плотности населения, также слабо развита в центральной части острова.

В числе многочисленных государственных программ по развитию региона к туриндустрии имеют отношение: экологическая политика, направленная на защиту, поддержание и устойчивое развитие памятников природы и национального парка. На эти цели выделено 3,5 миллиона евро. На развитие и благоустройство береговой линии, в том числе пляжей, выделено 1,06 миллиона евро. Отмечается стабильное финансирование транспортной системы и дорожной сети: 38,6 миллионов евро, в том числе 1 миллион на создание и развитие так называемого «морского автобуса», курсирующего между крупными населёнными пунктами островов департамента Гваделупа.

С целью улучшения благосостояния населения, а также повышения уровня сервиса и качества обслуживания, в 2019 г. французские власти инвестировали в сферу образования островного региона Гваделупа 39 миллионов, в числе которых финансы на профессиональное обучение кадров, задействованных в сфере туризма. На развитие туризма в регионе в 2019 г. планируется потратить 9 миллионов евро. Таким образом, только на программы по развитию туристской сферы в регионе выделено более чем 1,56 % от его общего бюджета, без учёта финансирования смежных и связан-

ных с туризмом отраслей [11]. Несмотря на географическую удалённость от столицы и экономического центра страны – Парижа, регион активно финансируется и реализует стоящие задачи по развитию туризма.

Власти Франции способствуют экономическому и социальному развитию региона, в том числе развитию туризма как напрямую (увеличение числа рабочих мест, профессиональное образование, стимулирование инвестирования и т.д.), так и косвенно, обеспечивая благоприятные условия и безопасность для туристов и местных жителей.

Помимо государственного финансирования, в качестве рычага стимулирования к развитию, во Франции была создана торговая марка «QualitéTourisme» – это единственный в стране бренд, направленный на улучшение качества туристских услуг и присуждаемый элементам рекреационной сферы, таким как средства размещения, объекты питания, развлечения и спорта, элементы инфраструктуры, места для туристских посещений, экскурсионные бюро, турагентства и др. [12]. На территории острова Гваделупа располагаются 2 объекта, удостоенных торговой марки «QualitéTourisme».

Выводы

Инвентаризация и пространственный анализ туристских ресурсов и инфраструктуры туризма Гваделупы показали высокий уровень её развития, несмотря на обозначенные выше недостатки, которые объясняются тем, что это островной департамент с большим удалением от главной столицы – Парижа. Результаты, полученные в ходе исследования, могут быть использованы в процессе обучения, в том числе и «электронного образования, ориентированного на когнитивную сферу личности, на формирование абстрактного интеллекта» [13] и самостоятельной научно-исследовательской деятельности обучающихся.

Список литературы / References

1. Квартальнов В.А. Иностранный туризм. М.: Финансы и статистика, 1999. 306 с.

Kvartalnov V.A. Foreign Tourism. M.: Finansy i statistika, 1999. 306 p. (in Russian).

2. Официальный сайт статистического агентства Французской Республики. [Электронный ресурс]. URL: https://www.entreprises.gouv.fr (дата обращения: 14.09.2019).

The official website of the statistical agency of the French Republic. [Electronic resource]. URL: https://www.entreprises.gouv.fr (date of access: 14.09.2019) (in Russian).

3. Федеральное агентство по туризму России. [Электронный ресурс]. URL: http://www.russiatourism.ru свободный (дата обращения: 14.09.2019).

Federal Agency for Tourism of Russia. [Electronic resource]. URL: http://www.russiatourism.ru свободный (date of access: 14.09.2019) (in Russian).

4. Челнокова Е.А., Кузнецова С.Н., Набиев Р.Д. Возможности использования информационно-коммуникационных технологий в преподавании экономических дисциплин в вузе // Вестник Мининского университета. 2017. № 3. [Электронный ресурс]. URL: https://vestnik.minininuniver.ru/jour/article/view/628/610 (дата обращения: 14.09.2019). DOI: 10.26795/2307-1281-2017-3-8.

Chelnokova E.A., Kuznetsova S.N., Nabiev R.D. Possibilities of using information and communication technologies in teaching economic disciplines in the university // Vestnik of Minin University. 2017. № 3. [Electronic resource]. URL: https://vestnik.minininuniver.ru/jour/article/view/628/610 (date of access: 14.09.2019) (in Russian).

5. Михеев В.А. Климатология и метеорология. Учебное пособие. Ульяновск, 2009. 114 с.

Mikheev V.A. Climatology and meteorology. Tutorial. Ulyanovsk, 2009. 114 p. (in Russian).

6. Национальные парки Франции. [Электронный ресурс]. URL: http://www.parcsnationaux.fr (дата обращения: 14.09.2019).

National parks of France. [Electronic resource]. URL: http://www.parcsnationaux.fr (date of access: 14.09.2019) (in Russian).

7. Электронный атлас, географо-статистический блог. [Электронный ресурс]. URL: https://fr.actualitix.com/blog/shapefiles-des-departements-de-france.html# (дата обращения: 14.09.2019).

Electronic Atlas, geographical and statistical blog- [Electronic resource]. URL: https://fr.actualitix.com/blog/shapefiles-des-departements-de-france.html# (date of access: 14.09.2019) (in Russian).

8. ГИС-атлас. [Электронный ресурс]. URL: https://mapcruzin.com/free-guadeloupe-maps.htm (дата обращения: 14.09.2019).

GIS-Atlas. [Electronic resource]. URL: https://mapcruzin.com/free-guadeloupe-maps.htm (date of access: 14.09.2019) (in Russian).

9. Электронная карта мира. [Электронный ресурс]. URL: https://www.openstreetmap.org/relation/1047206 (дата обращения: 14.09.2019).

Electronic map of the world. [Electronic resource]. URL: https://www.openstreetmap.org/relation/1047206 (date of access: 14.09.2019) (in Russian).

10. Воскресенский В.Ю. Международный туризм. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2016. 255 с.

Voskresensky V.Yu. International Tourism. M.: UNITY-DANA, 2016. 255 p. (in Russian).

11. Мой регион, территория. [Электронный ресурс]. URL: https://www.regionguadeloupe.fr/ma-region-un-territoire/les-roles-et-fonctionnement/le-budget/#_ (дата обращения: 14.09.2019).

My region, territory. [Electronic resource]. URL: https://www.regionguadeloupe.fr/ma-region-un-territoire/les-roles-et-fonctionnement/le-budget/#_ (date of access: 14.09.2019) (in Russian).

12. Туризм. Качество. [Электронный ресурс]. URL: https://www.entreprises.gouv.fr/qualite-tourisme (дата обращения: 14.09.2019).

Tourism. Quality. [Electronic resource]. URL: https://www.entreprises.gouv.fr/qualite-tourisme (date of access: 14.09.2019) (in Russian).

13. Илалтдинова Е.Ю., Федоров А.А., Фильченкова И.Ф. Типология электронных сервисов в открытом образовательном пространстве // Вестник Мининского университета. 2017. № 2. [Электронный ресурс]. URL: https://vestnik.minininuniver.ru/jour/article/view/349/350 (дата обращения: 14.09.2019).

Ilaltdinova E.Yu., Fedorov A.A., Filchenkova I.F. Typology of electronic services in an open educational space // Vestnik of Minin University. 2017. № 2. [Electronic resource]. URL: https://vestnik.minininuniver.ru/jour/article/view/349/350 (date of access: 14.09.2019) (in Russian).

УДК 550.4

БИОВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ НИКЕЛЯ, МЕДИ И КОБАЛЬТА ИЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ОБРАБОТАННОЙ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЕМ РУДЫ

Киореску А.В.

Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, Петропавловск-Камчатский, e-mail: kioresku88@gmail.com

В последние годы в России и за рубежом наблюдается устойчивая тенденция к истощению запасов богатой и легкообогатимой руды. Применение традиционных пирометаллургических методов переработки низкосортного сырья является экономически невыгодным. Кроме того, высокотемпературные процессы связаны с риском загрязнения окружающей среды отходами производства. В связи с этим все большее внимание уделяется технологии бактериально-химического выщелачивания, которая характеризуется низкими капитальными затратами, простотой используемого оборудования и высокой экологической безопасностью. Несмотря на преимущества над традиционными методами обогащения, технология биовыщелачивания имеет существенный недостаток, который заключается в высокой продолжительности технологического процесса вследствие слабой кинетики окислительно-восстановительных реакций. По этой причине поиск и исследование методов интенсификации процесса является актуальной задачей на сегодняшний день. Настоящая работа представляет собой результаты проведенного эксперимента, целью которого являлась оценка изменений эффективности извлечения никеля, меди и кобальта в процессе биовыщелачивания, в зависимости от продолжительности предварительной обработки сульфидной полиметаллической руды микроволновым излучением. Облучение проводилось в микроволновой печи мощностью 900 Вт. Плотность потока излучения была равна 0,7 Вт/см^2. Исследуемые интервалы облучения равнялись 20, 60 и 100 с. Для контроля проводилось биовыщелачивание из необлученной руды. Было установлено, что облучение руды СВЧ-излучением, продолжительностью 100 с, непосредственно перед биовыщелачиванием, способствует увеличению средней скорости повышения концентрации никеля в растворе на 57 %, кобальта на 52 %, а меди на 24 %. Также в статье представлена краткая информация о механизмах биовыщелачивания, о роли микроорганизмов в растворении минералов.

Ключевые слова: биовыщелачивание, гидрометаллургия, микроволновая энергия, интенсификация, обогащение

BIOLEACHING OF NICKEL, COPPER AND COBALT FROM ORE IRRADIATED WITH MICROWAVE RADIATION

Kioresku A.V.

Geotechnological Scientific Research Centre, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, e-mail: kioresku88@gmail.com

In recent years, in Russia and abroad, there has been a steady tendency towards a decrease in reserves of rich and easily enriched ores. The use of traditional pyrometallurgical methods for processing low-grade raw materials is economically disadvantageous. In addition, high-temperature processes are associated with the risk of environmental pollution from industrial waste. In this regard, increasing attention is being paid to the technology of bacterial-chemical leaching, which is characterized by low capital costs, the simplicity of the equipment used and high environmental safety. Despite the advantages compared with traditional enrichment methods, the biological leaching technology has a significant drawback, which consists in the high duration of the process due to the weak kinetics of redox reactions. For this reason, the search and study of methods for intensifying the process is an urgent task today. This work represents the results of an experiment whose purpose was to evaluate the change in the efficiency of extraction of nickel, copper and cobalt during bioleaching, depending on the duration of the preliminary treatment of sulfide polymetallic ore with microwave radiation. The irradiation was carried out in a 900 W microwave oven. The radiation flux density was 0.7 W/cm^2. It was found that irradiation of ore with microwave radiation, lasting 100 seconds, immediately before bioleaching, increases the average rate of increase in the concentration of nickel in solution by 57 %, cobalt by 52 %, and copper by 24 %.

Keywords: bioleaching, hydrometallurgy, microwave energy, intensification, enrichment

В настоящее время для извлечения металлов из минерального сырья и промышленных отходов используют методы пиро- и гидрометаллургии, а также бактериально-химическое выщелачивание (БХВ).

Традиционные пиро- и гидрометаллургические процессы являются источниками загрязнения окружающей среды такими веществами, как фураны, диоксины, SO_2 и сильнокислотные сточные воды. К тому же применение данных методов для переработки низкосортного минерального сырья, будь это хвосты обогащения или разного рода промышленные отходы, является экономически нецелесообразным [1].

В отличие от традиционных методов обогащения БХВ является экологически чистой технологией, которая характеризуется низкими эксплуатационными и энергетическими затратами, простотой оборудования [2].

В настоящее время биологическое выщелачивание не ограничивается высоко-

сортными сульфидными минералами, а широко используется при извлечении металлов из бедной руды и из твердых отходов, таких как электронный мусор, шлам, батареи, катализаторы [3].

Суть БХВ заключается в переходе металлов в виде ионов солей из твердой фазы в раствор. Такой переход обеспечивают выщелачивающие агенты, которые продуцируются микроорганизмами в процессе их жизнедеятельности [4].

Микроорганизмы, участвующие в процессе биовыщелачивания, являются хемоавтотрофами: они получают энергию в результате окислительно-восстановительных реакций, в которых окисляются различные химические соединения, в том числе минералы [5].

Первая хемоавтотрофная бактерия *Thiobacillus ferrooxidans* впервые была выделена в 1950 г. из дренажных шахтных вод. Данная бактерия окисляла двухвалентное железо до трехвалентного железа, а тиосульфаты до сульфатов [6].

В последние десятилетия во всем мире проводились исследования на основе метагеномики с большим количеством образцов. Было обнаружено, что основные доминантные роды, обнаруженные в среде кислых дренажных вод, связаны с *Acidithiobacillus*, *Leptospirillum*, *Ferrovum*, *Ferrithrix*, *Sulfobacillus*, *Acidiphilium*, *Acidobacterium*, *Alicyclobacillus*, *Ferroplasma*, *Thermoplasma*, *Picrophilus*, *Metallosphaera*, *Ferrimicrobium* [7].

Несмотря на все преимущества перед традиционными методами переработки минерального сырья, биовыщелачивание обеспечивает низкую эффективность извлечения, что препятствует его практическому применению. Основной причиной низкой эффективности извлечения считалось образование пассивирующих слоев, таких как элементарная сера, полисульфид и ярозит, на поверхности минералов [8].

В ряде работ одним из способов повышения эффективности процессов выщелачивания является использование микроволнового излучения [9].

Целью данного исследования являлась оценка предварительной обработки руды микроволновым излучением с целью повышения эффективности перехода из нее в жидкую фазу Ni, Co и Cu в процессе бактериально-химического выщелачивания.

Материалы и методы иследования

Бактериальная культура. В эксперименте использовалась смешанная культура хемолитоавтотрофных микроорганизмов, выделенная из образца сульфидной медно-никелевой руды месторождения Шануч (Камчатка). По данным ПЦР-диагностики [10], в состав данного сообщества входили *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *A. thiooxidans*, *Sulfobacillus* spp.

Руда. В качестве минерального сырья в работе была использована сульфидная руда кобальт-медно-никелевого месторождения Шануч с содержанием сульфидных минералов, равным 60–90 %, из которых 65–75 % составляет пирротин, 20–25 % – пентландит, 10 % – виоларит, 2–5 % – халькопирит. Исходные концентрации металлов, %: Ni – 4,52 %; Cu – 0,68 %; Co – 0,15 %. Для эксперимента образец руды был измельчен и просеян через сито, размер ячейки которого равнялся 100 мкм.

*Процесс облучения***.** Облучение проводилось в СВЧ-печи мощностью 900 Вт. Частота излучения 2,45 ГГц. Плотность потока излучения 0,7 Вт/см^2. Масса навески руды составляла 20 г. В зависимости от продолжительности предварительной обработки руды было сформировано три экспериментальные группы:

– «СВЧ-20»: предварительная обработка руды СВЧ-излучением в течение 20 с.

– «СВЧ-60»: предварительная обработка руды СВЧ-излучением в течение 60 с.

– «СВЧ-100»: предварительная обработка руды СВЧ-излучением в течение 100 с.

Для контроля параллельно проводилось биовыщелачивание с необработанной в СВЧ-поле рудой.

Бактериально-химическое выщелачивание. БХВ проводилось в колбах Эрленмейера объемом 250 мл, содержащих 15 г кобальт-медно-никелевой руды и 150 мл среды Сильвермана и Лундгрена с добавлением железа (3 г/л). Колбы располагались на качалке (90 об/мин) в термостате при постоянной температуре 22 °С. Начальное количество клеток в миллилитре раствора равнялось 10^6.

На протяжении всего эксперимента ежесуточно определялось количество свободноплавающих микроорганизмов методом прямого подсчета под микроскопом, определялась степень окисления двухвалентного железа методом визуального колориметрического титрования. Концентрация металлов (Ni, Cu, Co), перешедших в раствор, определялась методом атомно-адсорбционной спектрометрии на приборе 6300 Shimadzu в пламени ацетилен – воздух.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные в работе экспериментальные данные свидетельствуют о том, что предварительная обработка руды СВЧ-излучением способствует повышению эффективности извлечения из нее металлов в процессе БХВ. Причиной этому, по всей видимости, могли стать микроповреждения, образовавшиеся в ходе релаксации внутренних напряжений, которые являются следствием неравномерного нагревания компонентов руды в СВЧ-поле.

На рис. 1 представлен график изменения количества планктонных форм микроорганизмов в различных экспериментальных группах. Максимальная концентрация клеток была зарегистрирована в группе СВЧ-100 и равнялась $1{,}3 \cdot 10^9$ кл/мл. В группах СВЧ-60 и СВЧ-20 этот показатель был равен $1{,}2 \cdot 10^9$ кл/мл и $0{,}9 \cdot 10^9$ кл/мл соответственно. Наименьшее количество свободноплавающих микроорганизмов было в контрольных колбах, где их количество в одном миллилитре раствора составляло $0{,}6 \cdot 10^9$.

Увеличение площади удельной поверхности руды и потенциальных мест прикрепления микроорганизмов, вследствие образовавшихся микроповреждений, способствует созданию более благоприятных условий для роста и размножения микроорганизмов. Об этом свидетельствует более высокая концентрация клеток в колбах с предварительно обработанной СВЧ-излучением рудой.

Определение концентрации ионов трехвалентного железа необходимо для оценки эффективности протекания окислительных реакций в процессе БХВ. Трехвалентное железо является основным окислителем, который генерируется микроорганизмами и который участвует в непрямом пути биовыщелачивания.

В ходе эксперимента было зарегистрировано существенное повышение концентрации трехвалентного железа в колбах, которые подвергались воздействию микроволнового излучения (рис. 2). Максимальная концентрация Fe^{3+} наблюдалась в экспериментальной группе СВЧ-100 и равнялась $9{,}5 \pm 0{,}3$ г/л, что существенно выше, чем в контроле, где значение этого параметра равнялось $2{,}8 \pm 0{,}3$ г/л. В колбах с рудой, облучение которой проходило в течение 20 с, концентрация трехвалентного железа была равна $8{,}3 \pm 0{,}3$ г/л, а в группе СВЧ – 60 $9{,}4 \pm 0{,}3$ г/л.

На рис. 3 представлен график изменения концентрации никеля в растворе в различных экспериментальных группах. Видно, что предварительная обработка руды СВЧ-излучением способствует более эффективному переходу металла в растворимую форму. Так к концу эксперимента концентрация растворенного никеля в группе СВЧ-100 составляла $4{,}1 \pm 0{,}3$ г/л, в группе СВЧ-20 $3{,}6 \pm 0{,}2$ г/л, а контроле $2{,}9 \pm 0{,}2$ г/л.

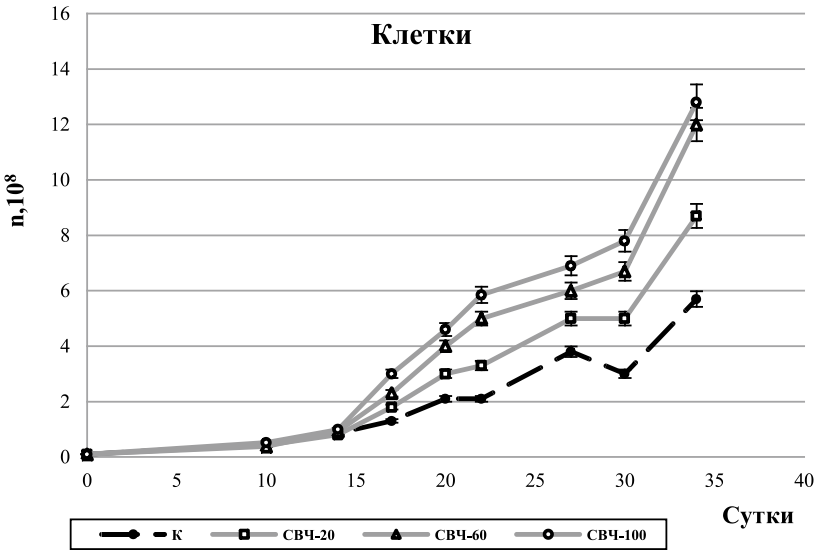


Рис. 1. Изменение количества клеток в одном миллилитре раствора. К: контроль, СВЧ-20: обработка руды в течение 20 с, СВЧ-60: обработка руды в течение 60 с, СВЧ-100: обработка руды в течение 100 с

При этом средняя скорость увеличения концентрации никеля в жидкой фазе пульпы в группе СВЧ-100 равнялась 121 мг/сутки, что на 57% эффективнее, чем в контроле (77 мг/сут).

Похожая картина наблюдалась и при определении концентрации кобальта в жидкой фазе пульпы. Извлечение Co из облученной руды шло значительно эффективнее, чем из контрольной, которая не подвергалась воздействию СВЧ-волн (рис. 4). В группе СВЧ-100 средняя скорость извлечения Co была равна 3,8 мг/сут, а максимальная концентрация 134 ± 8 мг/л. Средняя скорость увеличения концентрации кобальта в растворе в контрольной группе равнялась 2,5 мг/сут, что на 52% менее эффективно, чем в группе СВЧ-100. В колбах, где проходило биовыщелачивание кобальта из руды, которая подвергалась предварительной обработке СВЧ-излучением в течение 20 с, скорость увеличения концентрации кобальта была выше (3,2 мг/сут), чем в контроле, но ниже, чем в группе СВЧ-100.

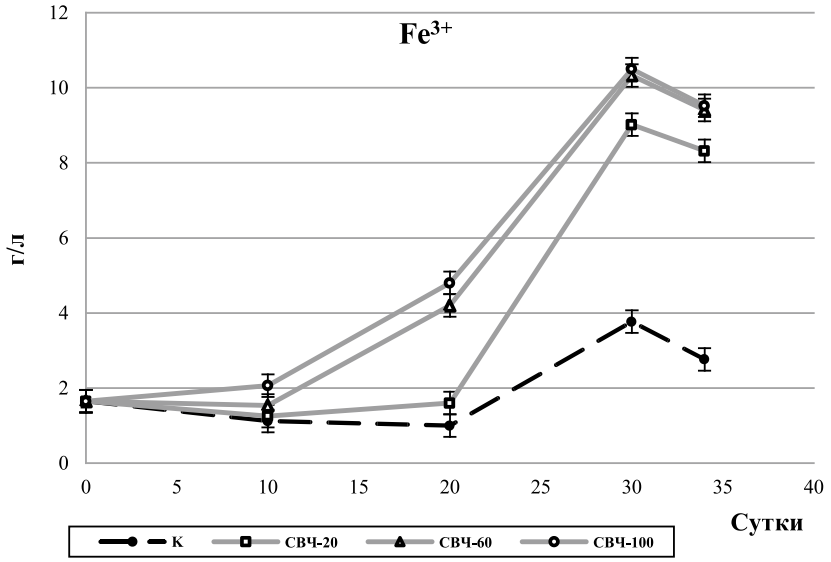


Рис. 2. Изменение концентрации трехвалентного железа в растворе. Условные обозначения см. рис. 1

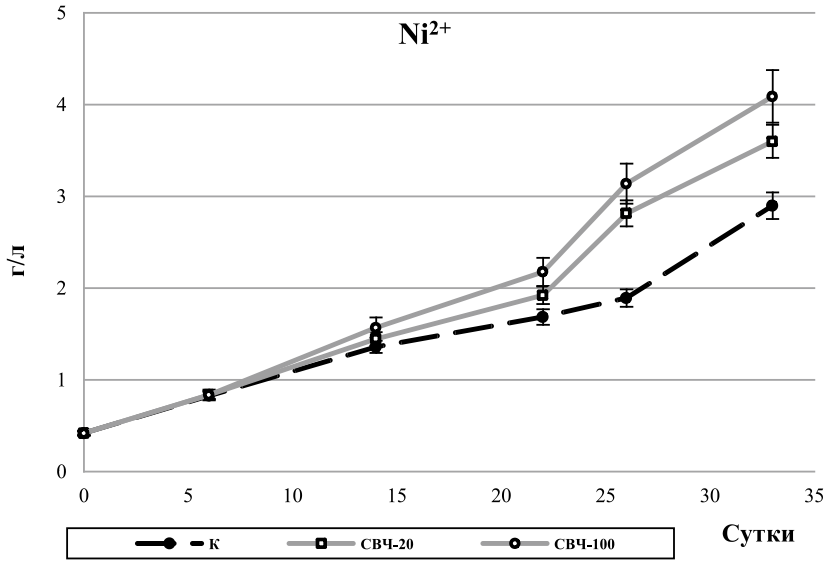


Рис. 3. Изменение концентрации ионов никеля в жидкой фазе пульпы. Условные обозначения см. рис. 1

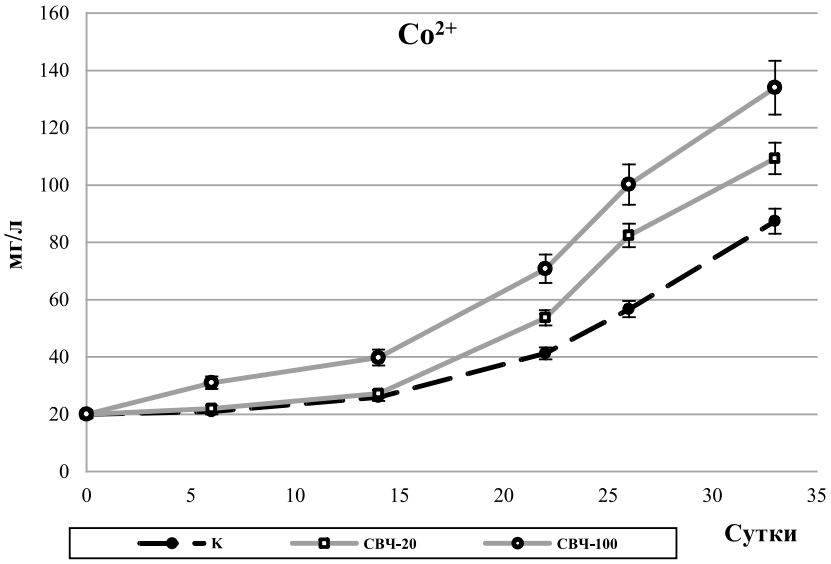


Рис. 4. Изменение концентрации ионов кобальта в жидкой фазе пульпы. Условные обозначения см. рис. 1

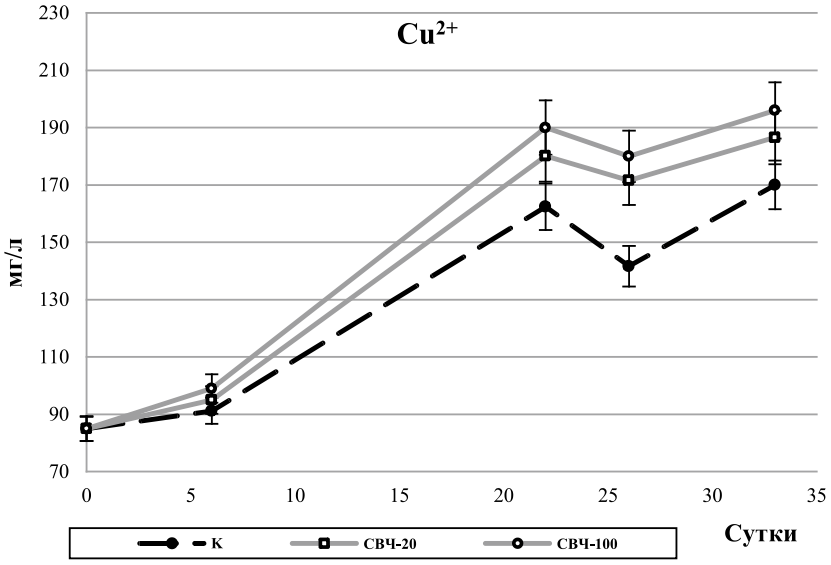


Рис. 5. Изменение концентрации ионов меди в жидкой фазе пульпы. Условные обозначения см. рис. 1

Н рис. 5 представлен график изменения концентрации меди в жидкой фазе пульпы. Видно, что максимальная концентрация этого металла была в опытной группе СВЧ-100 и равнялась 196 ± 13 мг/л, при этом средняя скорость увеличения концентрации меди в жидкой фазе пульпы составила 3,6 мг/сут. Наиболее низкая концентрация Cu зарегистрирована в контрольных колбах, где к концу эксперимента этот показатель был равен 170 ± 11 мг/л, а средняя скорость увеличения концентрации 2,9 мг/сут, что на 24 % ниже, чем в группе СВЧ-100.

Заключение

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что предварительная обработка руды способствует более эффективному растворению минералов в процессе бактериально-химического выщелачивания и переходу никеля, меди и кобальта в раствор. Так воздействие

микроволновым излучением на руду продолжительностью 100 с способствовало повышению скорости увеличения концентрации растворенного никеля на 57 %, кобальта на 52 % и меди на 24 %.

Список литературы / References

1. Трухин Ю.П., Хайнасова Т.С. Исследование кинетики и механизма биовыщелачивания сульфидной Co-Cu-Ni руды в периодическом режиме // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 10. С. 111–117.

Trukhin Yu.P., Khaynasova T.S. Study of the kinetics and mechanism of bioleaching of sulfide Co-Cu-Ni ore in periodic mode // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten. 2011. № 10. P. 111–117 (in Russian).

2. Мусихин В.О., Киореску А.В. Сочетанное воздействие СВЧ-излучения и ультразвука на смешанную культуру хемолитотрофных аборигенных микроорганизмов Камчатской никеленосной провинции // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2018. № 6. С. 159–165.

Musikhin V.O., Kioresku A.V. Combined effect of microwave radiation and ultrasound on a mixed culture of chemolithotrophic native organisms of the Kamchatka nickel-bearing province // Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk. 2018. № 6. P. 159–165 (in Russian).

3. Zhao F., Wang S. Bioleaching of electronic waste using extreme acidophiles. Electronic Waste Management and Treatment Technology. Butterworth-Heinemann. 2019. P. 153–174. DOI: 10.1016/B978-0-12-816190-6.00007-8.

4. Brandl H. Microbial leaching of metals. Biotechnology. 2001. vol. 10. P. 191–224.

5. Wang J., Bai J., Xu J. Bioleaching of metals from printed wire boards by Acidithiobacillus ferrooxidans and Acidithiobacillus thiooxidans and their mixture. Journal of Hazardous Materials. 2009. vol. 172. no. 2–3. P. 1100–1105. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.07.102.

6. Gupta A., Sarkar J., Sar P. Understanding the Structure and Function of Extreme Microbiome Through Genomics: Scope and Challenges. Microbial Diversity in the Genomic Era. Academic Press, 2019. P. 581–610. DOI: 10.1016/B978-0-12-814849-5.00033-2.

7. Mendez M.O., Neilson J.W., Maier R.M. Characterization of a bacterial community in an abandoned semiarid lead-zinc mine tailing site. Appl. Environ. Microbiol. 2008. vol. 74. no. 12. P. 3899–3907. DOI: 10.1128/AEM.02883-07.

8. Wang J., Gan X., Zhao H., Hu M., Li K., Qin W., Qin G. Dissolution and passivation mechanisms of chalcopyrite during bioleaching: DFT calculation, XPS and electrochemistry analysis. Minerals Engineering. 2016. vol. 98. P. 264–278. DOI: 10.1016/j.mineng.2016.09.008.

9. Hong Y., Valix M. Bioleaching of electronic waste using acidophilic sulfur oxidising bacteria. Journal of Cleaner Production. 2014. vol. 65. P. 465–472. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.08.043.

10. Рогатых С.В., Докшукина А.А., Левенец О.О., Мурадов С.В., Кофиади И.А. Оценка качественного и количественного состава сообществ культивируемых ацидофильных микроорганизмов методами пцр-рв и анализа библиотеки клонов // Микробиология. 2013. Т. 82. № 2. С. 212. DOI: 10.7868/S0026365613010138.

Rogatykh S.V., Levenets O.O., Muradov S.V., Dokshukina A.A., Kofiadi I.A. Evaluation of quantitative and qualitative composition of cultivated acidophilic microorganisms by real-time PCR and clone library analysis. Microbiology (Mikrobiologiya). 2013. vol. 82. no 2. P. 210–214. DOI: 10.1134/S002626171301013X.

УДК 504.53:504.054:631.453(470.341-25)

ЭКСПЕРТИЗА ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ РАЗЛИЧИЙ В УРОВНЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЛЕГКО ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ПРИОРИТЕТНЫХ ЭКОТОКСИКАНТОВ В УРБАНОЗЕМАХ НИЖНЕГО НОВГОРОДА И АНАЛИЗ ИХ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ТОКСИЧНОСТИ

Козлов А.В., Уромова И.П.

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина», Нижний Новгород, e-mail: a.v.kozlov_ecology@mail.ru

В настоящей работе представлены результаты проведения экспертной оценки почвенного покрова Нижнего Новгорода различной степени преобразованности на предмет определения уровня концентраций наиболее подвижных (водорастворимых) фракций тяжелых металлов (цинка, кадмия, свинца и меди), а также суммарного содержания нефтепродуктов с последующим выявлением уровня интегральной токсичности урбаноземов. Исследования проведены в апреле 2019 г. на базе эколого-аналитической лаборатории мониторинга и защиты окружающей среды Мининского университета. Изучению подвергался почвенный покров парковых территорий семи районов города, наиболее приближенных к промышленным зонам и полосам следования автотрасс. Установлен уровень накопления в слое почвы 0–15 см легко подвижных фракций цинка – 0,2–2,8 % от ПДК, кадмия – 18–101 % от ОДК, свинца – 3,1–8,1 % от ПДК и меди – 0,03–0,20 % от ПДК. Наиболее часто встречающаяся внутри территориальная вариабельность элемента была установлена по цинку и меди, что в первую очередь связано с неравномерностью загрязнения данными экотоксикантами почвенного покрова. Суммарное содержание нефтепродуктов в исследованных урбаноземах в целом имело широкую вариацию, но в наибольшем содержании было выявлено на территории ПКиО «Дубки» (более 19 мг/кг), ПКиО «Швейцария» (до 16 мг/кг) и ПКиО им. Кулибина (до 10 мг/кг). Анализ интегральной токсичности почвенного покрова, определенной при помощи биотеста *Escherichia coli M-17*, показал ее сильно выраженную вариабельность по территории города, которая имела тенденцию зависимости от количества накопленных нефтепродуктов, а также от содержания металлов 1 класса токсичности – Zn, Cd и Pb. По-видимому, действие накопления в почвах водорастворимых фракций тяжелых металлов на проявление им токсических свойств на территории ПКиО «Швейцария» и ПКиО «Дубки» определялось повышенным содержанием цинка и кадмия, а на территории ПКиО им. Кулибина – повышенным содержанием цинка и свинца.

Ключевые слова: тяжелые металлы, нефтепродукты, интегральная токсичность почв, легко подвижные соединения экотоксикантов, территориальные различия, урбаноземы, городская территория

EXAMINATION OF TERRITORIAL DIFFERENCES IN CONCENTRATIONS OF EASILY MOBILE FORMS OF PRIORITY ECOTOXICANTS IN URBANOZEMS OF NIZHNY NOVGOROD CITY AND ANALYSIS THEIR INTEGRAL TOXICITY

Kozlov A.V., Uromova I.P.

Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, e-mail: a.v.kozlov_ecology@mail.ru

This paper presents of results of expert assessment of soil cover of the Nizhny Novgorod of different degree of transformation to determine level of concentrations of most mobile (water-soluble) fractions of heavy metals (zinc, cadmium, lead and copper), as well as total content of petroleum products with subsequent detection of level of integral toxicity of urbanozems. The research was carried out in April 2019 on the basis of the Ecological Analytical Laboratory of Environmental Monitoring and Protection of Minin University. The soil cover of park areas of 7 districts of the city, most close to industrial zones and lanes of motorways, was studied. Level of accumulation in soil layer 0-15 cm of easily movable zinc fractions – 0.2–2.8 % of TLV, cadmium – 18–101 % of TLV, lead – 3.1–8.1 % of TLV and copper – 0.03–0.20 % of TLV. Most common internal spatial variability of element was determined by zinc and copper, which is primarily due to uneven contamination of soil cover by these ecotoxicants. Total content of petroleum products in examined urbanozems as a whole had a wide variation, but in largest content was found on the territory of RP «Dubki» (more than 19 mg/kg), RP «Switzerland» (up to 16 mg/kg) and RP named after Kulibin (up to 10 mg/kg). The analysis of integrated toxicity of soil cover determined by the *Escherichia coli M-17* biotest showed its strongly pronounced variability across the city, which tended to depend on amount of accumulated petroleum products, as well as on content of metals of class 1 of toxicity – Zn, Cd and Pb. It seems that effect of accumulation of water-soluble fractions of heavy metals in soils on its manifestation of toxic properties on the territory of RP «Switzerland» and RP «Dubki» was determined by increased content of zinc and cadmium, and on the territory of RP named after Kulibin – by increased content of zinc and lead.

Keywords: heavy metals, petroleum products, soil integrated toxicity, easily movable ecotoxicants compounds, territorial differences, urbanozems, urban territory

Известно [1, 2], что почвенный покров является одной из главных системных сред, которая обладает функцией массового депонирования загрязняющих веществ. По уровню содержания в почвах экотоксикантов судят о степени антропогенного воздействия как при их непосредственном контакте с почвенным покровом, так и при оседании газо-пылевых частиц на его поверхности из атмосферного воздуха. При

этом с точки зрения экологического мониторинга при экспертизе экологического состояния антропогенно преобразованных территорий урбаноземам отдается приоритет, поскольку, с одной стороны, их почвенно-поглощающий комплекс вне зависимости от гранулометрического состава дневных горизонтов и содержания в них органического вещества обладает потенциальной поглощающей способностью, что является критерием степени аккумуляции загрязнителей, а с другой стороны, кумулятивный эффект городских почв в отношении экотоксикантов сильно пролонгирован во времени, что служит индикатором наличия хронического загрязнения местности.

В части наличия длительного поступления поллютантов в почвенный покров среди крупных городов территория Нижнего Новгорода не является исключением [3–5]. Причиной тому является высокоразвитая машиностроительная, нефтехимическая, химическая и иная промышленность, теплоэнергетический сектор и автотранспортные сети, деятельность которых неизбежно сопровождается газо-пылевыми выбросами, сточными водами (в том числе от городских ливневых канализаций) и образованием твердых отходов.

Согласно принципам экологического нормирования загрязняющих веществ в почвах [6] определение уровня концентраций их наиболее подвижных соединений относится к особо значимым показателям. В условиях промывного и периодически промывного водного режима территории за счет достаточно высокой скорости миграции водорастворимых форм экотоксикантов в нижележащие горизонты почвенного тела и в грунтовые воды, а также за счет их значительной аккумуляции в фитомассе городских зеленых насаждений массоперенос и оборот веществ-загрязнителей в сопредельных средах системы «экотоп – биотоп» имеет высокую интенсивность.

Как указывается в современных исследованиях [7–10], в рамках регионального экологического мониторинга экспертиза (рекогносцировочная оценка) почвенного покрова на наличие потенциального накопления легко подвижных форм загрязняющих веществ практически не проводится, вследствие чего данный вопрос имеет высокую актуальность и востребованность для последующего выявления очагов вертикальной миграции экотоксикантов и наибольшего их хронического депонирования, в том числе в виде нерастворимых матриц.

Цель исследования: выявление территориальных различий в уровне содержания наиболее подвижных соединений приоритетных загрязняющих веществ в урбаноземах Нижнего Новгорода с последующим анализом интегральной токсичности почвенного покрова.

Материалы и методы исследования

Экспертная оценка проводилась в отношении почв 7 районов города: Нижегородский (ПКиО им. Кулибина), Советский (Сквер 65-летия Победы), Приокский (ПКиО «Швейцария»), Сормовский (ПКиО «Сормовский парк»), Канавинский (ПКиО им. 1 Мая), Ленинский (ПКиО «Дубки») и Автозаводский (ПКиО «Автозаводский»).

В качестве оцениваемых территорий были выбраны указанные выше парковые зоны, максимально приближенные к промышленным предприятиям и автомагистралям города. Почвенный покров представлен урбаноземами различной степени и глубины техногенеза, среди чего доминирует физическое преобразование с признаками как химического загрязнения, так и наличия почвоподобных новообразований (реплантоземов) [11].

Для выявления наибольшей подвижности загрязняющих веществ пробы почв отбирались в период максимального количества весенних осадков (первая половина апреля 2019 г.), потенциально влияющих на растворимость веществ в верхних горизонтах почв. Отбор почв проводился с четырех пробных площадок (10×10 м), заложенных равномерно по территории каждого парка, методом конверта (5 точечных проб → 1 объединенная проба) равномерно с глубины 0–15 см. Территориальное расположение парков в городе и мест отбора показано на рис. 1.

Почвенные образцы доставляли в эколого-аналитическую лабораторию мониторинга и защиты окружающей среды Мининского университета и анализировали путем определения концентраций легко подвижных соединений тяжелых металлов (Zn, Cd, Pb и Cu) в виде экстрагирования их соединений водной вытяжкой. Также в образцах определяли содержание суммарного количества нефтепродуктов и интегральную токсичность.

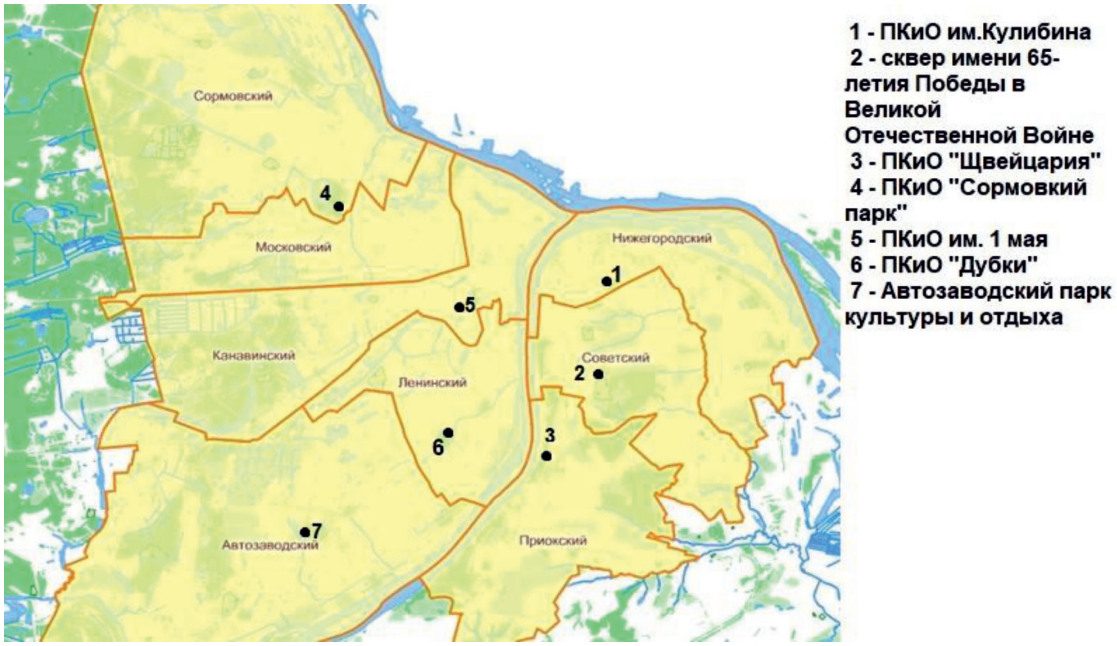


Рис. 1. Карта-схема территориального расположения внутригородских районов Нижнего Новгорода и точек отбора проб урбаноземов на исследуемых участках

Содержание тяжелых металлов в почвах определяли на полярографе TA-Lab инверсионно-вольтамперометрическим методом, содержание нефтепродуктов – на анализаторе ФЛЮОРАТ 02-4М люминесцентным методом, интегральную токсичность – при помощи генно-инженерной бактерии *Escherichia coli* М-17 на анализаторе токсичности БИОТОКС 10-М биолюминесцентным методом биотестирования [12]. Математическую обработку результатов исследований выполняли методом вариационного анализа в программном обеспечении Microsoft Office Excel 2007.

Результаты исследования и их обсуждение

Данные табл. 1 отражают содержание водорастворимых соединений цинка в почвах Нижнего Новгорода. Выявлено, что относительно уровня предельно допустимой концентрации (23,0 мг/кг) уровень подвижности цинка в городских почвах был достаточно мал, а абсолютные значения содержания водорастворимых фракций элемента варьировали от 0,2 % до 2,8 % от ПДК.

Территориально наименьшее количество легко подвижных соединений цинка было установлено в урбаноземах Сормовского (ПКиО «Сормовский парк») и Ленинского (ПКиО «Дубки») районов, а наибольшее – в урбаноземах Нижегородского (ПКиО им. Кулибина) и Приокского (ПКиО «Швейцария») районов. Внутритерриториальное варьирование оказалось максимальным в условиях Сквера 65-летия Победы, ПКиО «Дубки» и ПКиО им. 1 Мая, что, по-видимому, обусловлено неравномерностью загрязнения территорий, а также пространственной неоднородностью почвенного покрова.

Содержание водорастворимых форм кадмия в почвах города (табл. 2) оказалось достаточно высоким – относительно уровня ОДК (0,5 мг/кг) его вариабельность находилась в пределах от 18 % (ПКиО им. Кулибина) до 101 % (ПКиО «Швейцария»).

Максимальное накопление легко подвижных форм элемента было установлено в урбаноземах Приокского (ПКиО «Швейцария») и Канавинского (ПКиО им. 1 Мая) районов; наименьшее накопление – выявлено в почвах Нижегородского, Советского и Сормовского районов города. Вариабельность показателя достигала высоких значений только на территории ПКиО им. Кулибина (до 90 %) и ПКиО «Автозаводский» (до 74 %), в остальных вариантах исследования показатель V имел более сдержанные значения.

Таблица 1

Уровень территориальных различий в концентрациях водорастворимых соединений цинка (Zn) в урбаноземах Нижнего Новгорода

Территория исследования	Содержание цинка в почвах по точкам отбора проб, мг/кг				M ± m (V)
	T_1	T_2	T_3	T_4	
ПКиО им. Кулибина	0,2676	1,0301	0,5778	0,7488	0,6561 ± 0,1596 (49)
Сквер 65-летия Победы	0,1933	0,2901	0,0794	0,0095	0,1431 ± 0,0619 (87)
ПКиО «Швейцария»	0,0785	0,2217	0,2146	0,3907	0,2264 ± 0,0639 (56)
ПКиО «Сормовский парк»	0,0820	0,0636	0,0551	0,0194	0,0550 ± 0,0131 (48)
ПКиО им. 1 Мая	0,2714	0,0072	0,1386	0,0158	0,1083 ± 0,0621 (115)
ПКиО «Дубки»	0,1736	0,0195	0,0280	0,1070	0,0820 ± 0,0363 (89)
ПКиО «Автозаводский»	0,0748	0,2655	0,1371	0,0997	0,1443 ± 0,0424 (59)

Таблица 2

Уровень территориальных различий в концентрациях водорастворимых соединений кадмия (Cd) в урбаноземах Нижнего Новгорода

Территория исследования	Содержание цинка в почвах по точкам отбора проб, мг/кг				M ± m (V)
	T_1	T_2	T_3	T_4	
ПКиО им. Кулибина	0,1966	0,0043	0,0971	0,0617	0,0899 ± 0,0404 (90)
Сквер 65-летия Победы	0,1652	0,0224	0,0953	0,1170	0,1000 ± 0,0297 (59)
ПКиО «Швейцария»	0,4035	0,3310	**0,7021**	**0,5918**	**0,5071** ± 0,0851 (34)
ПКиО «Сормовский парк»	0,1169	0,0622	0,1214	0,0986	0,0998 ± 0,0135 (27)
ПКиО им. 1 Мая	0,3709	**0,5910**	0,2978	0,1115	0,3428 ± 0,0991 (58)
ПКиО «Дубки»	0,2274	0,2120	0,2153	0,1746	0,2073 ± 0,0114 (11)
ПКиО «Автозаводский»	0,0136	0,0970	0,1580	0,2333	0,1255 ± 0,0466 (74)

Таблица 3

Уровень территориальных различий в концентрациях водорастворимых соединений свинца (Pb) в урбаноземах Нижнего Новгорода

Территория исследования	Содержание цинка в почвах по точкам отбора проб, мг/кг				M ± m (V)
	T_1	T_2	T_3	T_4	
ПКиО им. Кулибина	0,4211	0,4714	0,4453	0,2816	0,4049 ± 0,0423 (21)
Сквер 65-летия Победы	0,3008	0,1025	0,0784	0,2660	0,1869 ± 0,0564 (60)
ПКиО «Швейцария»	0,3310	0,2907	0,2407	0,2306	0,2733 ± 0,0233 (17)
ПКиО «Сормовский парк»	0,3609	0,1805	0,8244	0,5715	0,4843 ± 0,1387 (57)
ПКиО им. 1 Мая	0,2206	0,7723	0,1048	0,3612	0,3647 ± 0,1456 (80)
ПКиО «Дубки»	0,2409	0,2005	0,1182	0,3988	0,2396 ± 0,0589 (49)
ПКиО «Автозаводский»	0,1303	0,2066	0,2870	0,5614	0,2963 ± 0,0940 (63)

Сравнивая территориальное накопление легко подвижных соединений свинца и меди в урбаноземах города (табл. 2 и табл. 3), прежде всего, необходимо указать на высокую вариабельность содержания меди в почвах относительно содержания свинца.

Так, если в отношении свинца коэффициент вариации был сдержанным и свое максимальное значение принимал единожды в почвенном покрове территории ПКиО им. 1 Мая (до 80 %), то в отношении накопления меди уровень варьирования показателя по территории оказался высоким и достигал 83–101 % (Нижегородский, Приокский, Канавинский и Ленинский районы). Очевидно, что соединения свинца медленнее, чем соединения меди, переходят в водорастворимую форму и по большей части представлены кислоторастворимыми формами, на которые установлены санитарно-экологические нормы федерального уровня.

Таблица 4

Уровень территориальных различий в концентрациях водорастворимых соединений меди (Cu) в урбаноземах Нижнего Новгорода

Территория исследования	Содержание цинка в почвах по точкам отбора проб, мг/кг				M ± m (V)
	T_1	T_2	T_3	T_4	
ПКиО им. Кулибина	0,0006	0,0062	0,0057	0,0002	0,0032 ± 0,0016 (101)
Сквер 65-летия Победы	0,0011	0,0043	0,0082	0,0101	0,0059 ± 0,0020 (68)
ПКиО «Швейцария»	0,0146	0,0030	0,0040	0,0018	0,0059 ± 0,0030 (101)
ПКиО «Сормовский парк»	0,0017	0,0011	0,0009	0,0034	0,0018 ± 0,0006 (64)
ПКиО им. 1 Мая	0,0079	0,0009	0,0016	0,0055	0,0040 ± 0,0017 (83)
ПКиО «Дубки»	0,0012	0,0003	0,0064	0,0029	0,0027 ± 0,0013 (100)
ПКиО «Автозаводский»	0,0007	0,0004	0,0015	0,0008	0,0009 ± 0,0002 (55)

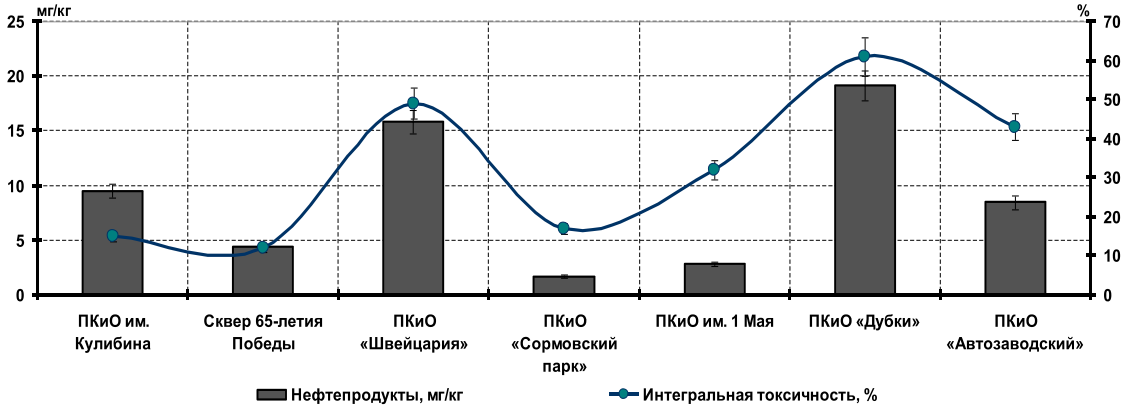


Рис. 2. Уровень территориальных различий в концентрации нефтепродуктов в урбаноземах Нижнего Новгорода и в их интегральной токсичности

Относительно санитарно-экологических норм (6,0 мг/кг по Pb; 3,0 мг/кг по Cu) накопление в урбаноземах города водорастворимых фракций свинца составляло от 3,1 % (Сквер 65-летия Победы) до 8,1 % (ПКиО «Сормовский парк»), а накопление водорастворимых фракций меди – от 0,03 % (ПКиО «Автозаводский») до 0,20 % (Сквер 65-летия Победы и ПКиО «Швейцария»).

В целом нужно отметить, что из всех изученных приоритетных экотоксикантов городских почв содержание легко подвижных форм меди оказалось на самом минимальном уровне, что может быть связано с относительно низким содержанием пула медьсодержащих матриц в исходном почвенном покрове.

Наибольшее суммарное содержание нефтепродуктов в городских почвах, представленное на рис. 2, достигало 19,13 мг/кг на территории ПКиО «Дубки» (Ленинский район) и 15,81 мг/кг на территории ПКиО «Швейцария» (Приокский район).

Средний уровень концентрации нефтепродуктов в урбаноземах (9,52 и 8,45 мг/кг) был установлен соответственно на территории ПКиО им. Кулибина и ПКиО «Автозаводский». Минимальное содержание нефтепродуктов было выявлено в почвах ПКиО «Сормовский» (1,69 мг/кг), ПКиО им. 1 Мая (2,80 мг/кг) и Сквера 65-летия Победы (4,36 мг/кг).

Относительно интегральной токсичности почв города (рис. 2) прежде всего необходимо указать на наличие тенденции ее зависимости от содержания нефтепродуктов в почвах. Кроме того, почвы ПКиО «Дубки» проявляли острую токсичность (3 группа токсичности), почвы ПКиО «Швейцария», ПКиО им. 1 Мая и ПКиО «Автозаводский» – среднюю токсичность (2 группа), а почвы ПКиО им. Кулибина, Сквера 65-летия Победы и ПКиО «Сормовский парк» – допустимую токсичность (1 группа).

Если рассматривать влияние накопления в почвенном покрове водорастворимых фрак-

ций тяжелых металлов на проявление им токсических свойств, то на территории ПКиО «Швейцария» и ПКиО «Дубки» имеется вероятность такого влияния от повышенного содержания цинка и кадмия, а на территории ПКиО им. Кулибина – от повышенного содержания цинка и свинца.

Заключение

Экспертиза территориальных различий в уровне концентраций легко подвижных форм приоритетных экотоксикантов, проведенная в черте Нижнего Новгорода, показала наличие относительно высокого содержания водорастворимых соединений кадмия – преимущественно в нагорной части города, и свинца – преимущественно в его заречной части.

Наибольшее суммарное содержание нефтепродуктов в городских почвах отслеживалось в ПКиО «Швейцария», расположенного вдоль одной из крупных автотрасс (пр. Гагарина), а также в ПКиО «Дубки», расположенного в промышленном центре и также испытывающего техногенный пресс в виде газо-пылевых выбросов от автотранспорта.

Интегральная токсичность урбаноземов, определенная по отношению к биотесту *Escherichia coli* М-17, в целом имеет удовлетворительный характер, сильно варьирует по территории города и имеет тенденцию зависимости от количества накопленных нефтепродуктов, а также от содержания металлов 1 класса токсичности – Zn, Cd и Pb.

Для проведения репрезентативной экологической оценки токсичности урбаноземов Нижнего Новгорода необходимо единовременно отслеживать степень накопления в них подвижных (кислоторастворимых) и валовых форм тяжелых металлов, а также нефтепродуктов, хлоридов, сульфатов, сероводорода и показателей кислотно-основного состояния. Такой набор показателей позволит не только выявить очаги загрязнения почвенного покрова, но и определить функциональную зависимость интегральной токсичности от конкретных загрязняющих веществ в определенных почвенных разностях.

Список литературы / References

1. Дабахов М.В., Дабахова Е.В., Титова В.И. Экологическая оценка почв урбанизированных ландшафтов: монография. Н. Новгород: НИУ РАНХиГС, 2014. 300 с.

Dabahov M.V., Dabahova E.V., Titova V.I. Environmental assessment of the soils of urbanized landscapes: monograph. N. Novgorod: NIU RANHiGS, 2014. 300 p. (in Russian).

2. Онищенко Г.Г. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения // Гигиена и санитария. 2013. Т. 92. № 2. С. 4–10.

Onishchenko G.G. On sanitary and epidemiological well-being of the population // Gigiena i sanitariya. 2013. T. 92. № 2. P. 4–10 (in Russian).

3. Гелашвили Д.Б., Копосов Е.В., Лаптев Л.А. Экология Нижнего Новгорода: монография. Н. Новгород: ННГАСУ, 2008. 530 с.

Gelashvili D.B., Koposov E.V., Laptev L.A. Ecology of Nizhny Novgorod: monograph. N.Novgorod: NNGASU, 2008. 530 p. (in Russian).

4. Мялкина Е.В. Диагностика качества образования в вузе // Вестник Мининского университета. 2019. Т. 7. № 3 (28). [Электронный ресурс]. URL: https://vestnik.minin-univer.ru/jour/article/view/1006 (дата обращения: 04.11.2019). DOI: 10.26795/2307-1281-2019-7-3-4.

Myalkina E.V. Diagnosis of the quality of education in the university // Vestnik of Minin University. 2019. T. 7. № 3 (28). [Electronic resource]. URL: https://vestnik.minin-univer.ru/jour/article/view/1006 (date of access: 04.11.2019) (in Russian).

5. Современные ландшафты Нижегородской области / Под ред. Б.И. Кочурова, Н.Ф. Винокуровой, О.В. Глебовой. Н. Новгород: НГПУ им. К. Минина, 2006. 370 с.

Modern landscapes of the Nizhny Novgorod Region / Pod red. B.I. Kochurova, N.F. Vinokurovoj, O.V. Glebovoj. N. Novgorod: NGPU im. K. Minina, 2006. 370 p. (in Russian).

6. Редина М.М., Хаустов А.П. Нормирование и снижение загрязнений окружающей среды: учебник. М.: Изд. Юрайт, 2014. 431 с.

Redina M.M., Haustov A.P. Rationing and reduction of environmental pollution: textbook. M.: Izd. Yurajt, 2014. 431 p. (in Russian).

7. Копосова Н.Н., Козлов А.В., Шешина И.М. Анализ территориальных различий в уровнях концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе города Нижнего Новгорода // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. [Электронный ресурс]. URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=19379 (дата обращения: 04.11.2019).

Koposova N.N., Kozlov A.V., Sheshina I.M. Analysis of territorial differences in concentrations of pollutants in the atmospheric air of the city of Nizhny Novgorod // Modern problems of science and education. 2015. № 3. [Electronic resource]. URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=19379 (date of access: 04.11.2019) (in Russian).

8. Маркова С.М., Наркозиев А.К. Методика исследования содержания профессионального образования // Вестник Мининского университета. 2019. Т. 7. № 1 (26). URL: https://vestnik.minin-univer.ru/jour/article/view/923 (дата обращения: 04.11.2019). DOI: 10.26795/2307-1281-2019-7-1-2.

Markova S.M., Narkoziev A.K. Methodology for research into the content of vocational education // Vestnik of Minin University. 2019. T. 7. № 1 (26). [Electronic resource]. URL: https://vestnik.minin-univer.ru/jour/article/view/923 (date of access: 04.11.2019) (in Russian).

9. Платонычева Ю.Н., Савина А.В. Оценка загрязнения почвенного покрова парков Нагорной части Нижнего Новгорода // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2 (22). С. 14–18.

Platonycheva Yu.N., Savina A.V. Assessment of pollution of a soil cover of parks of the Mountain part of Nizhny Novgorod // Vestnik Nizhegorodskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2019. № 2 (22). P. 14–18 (in Russian).

10. Смирнова Н.А. Направление и интенсивность трансформации почвенного покрова промышленного района (на примере г. Нижнего Новгорода): монография. Н. Новгород: ВГИПУ, 2007. 174 с.

Smirnova N.A. Direction and intensity of transformation of the industrial area soil cover (on the example of Nizhny Novgorod): monograph. N. Novgorod: VGIPU, 2007. 174 p. (in Russian).

11. Кулик К.Н., Кретинин В.М., Кошелева О.Ю. Опыт картографирования почвенного покрова города Волгограда // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2015. № 1. С. 40–45.

Kulik K.N., Kretinin V.M., Kosheleva O.Yu. Experience of mapping the soil cover of the city of Volgograd // Vestnik VGU. Seriya: Geografiya. Geoekologiya. 2015. № 1. P. 40–45 (in Russian).

12. Козлов А.В. Лабораторно-инструментальные методы исследований в экологии объектов окружающей среды: учебно-методическое пособие. Н. Новгород: НГПУ им. К. Минина, 2016. 89 с.

Kozlov A.V. Laboratory and instrumental methods of research in ecology of environmental objects: educational and methodological manual. N. Novgorod: NGPU im. K. Minina, 2016. 89 p. (in Russian).

УДК 910.3(470.325)

РЕКРЕАЦИОННЫЙ КАРКАС ГОРОДА БЕЛГОРОДА

Королева И.С.

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, e-mail: koroleva_i@bsu.edu.ru

В современных условиях прогрессирующей урбанизации рекреационная среда является необходимым компонентом пространственно-планировочной структуры города, которую необходимо учитывать при разработке новых стратегий развития территорий. Рекреационная среда города взаимосвязана и взаимообусловлена с рекреационной деятельностью в существующем рекреационном каркасе, а его качество напрямую зависит от качества существующего рекреационного каркаса и разнообразия рекреационной деятельности в нем происходящей. Цель исследования – оценка рекреационного потенциала природных территорий рекреационного каркаса города. Объект исследования – рекреационный каркас города Белгорода. Для достижения поставленной цели использовались методы сравнительного анализа, статистический и картографический методы, структурно-функциональный подход. Автором была дана формулировка термину рекреационный каркас, оценка рекреационного потенциала природных территорий рекреационного каркаса с учетом функциональной модели оценки для планировочного района и объекта. В работе были рассмотрены элементы туристско-рекреационной системы г. Белгорода, его функциональные зоны, проанализирована обеспеченность населения зелеными насаждениями, выявлены зоны транспортной доступности природных территорий и определена рекреационная нагрузка на них. Рекреационный каркас г. Белгород является формирующимся, в нем присутствуют буферные элементы, обеспечивающие поддержание экологической устойчивости, но в то же время создаются новые площадные и линейные объекты. Формирование последних в рекреационном каркасе города обусловлено экоревитализацией, позволяющей с помощью консервации и декорирования создать «непрерывные» рекреационные коридоры, проложенные вдоль рек города. Рекреационный потенциал природных территорий рекреационного каркаса оценивается как благоприятный и относительно благоприятный. Проведенная рекреационная оценка природных территорий выявила проблемы и перспективы развития.

Ключевые слова: рекреационный каркас, рекреационный потенциал, озеленение, транспортная доступность

RECREATIONAL FRAMING OF BELGOROD CITY

Koroleva I.S.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Belgorod State National Research University, Belgorod, e-mail: koroleva_i@bsu.edu.ru

In modern conditions of progressive urbanization, the recreational environment is an essential component of the spatial planning structure of the city, which must be taken into account when developing new strategies for the development of territories. The recreational environment of the city is interconnected and interdependent with recreational activities in the existing recreational framework, and its quality directly depends on the quality of the existing recreational framework and the variety of recreational activities occurring in it. The aim of the study is to assess the recreational potential of natural areas of the recreational framework of the city. The object of research is the recreational framework of the city of Belgorod. To achieve this goal, the methods of comparative analysis, statistical and cartographic methods, structural and functional approach were used. The author formulated the term recreational frame, assessment of the recreational potential of natural areas of recreational frame taking into account the functional evaluation model for the planning area and the object. Elements of tourist and recreational system of Belgorod, its functional zones were considered, provision of the population with green plantings is analyzed, zones of transport accessibility of natural territories are revealed and recreational loading on them is defined. The recreational framework of Belgorod is emerging, it contains buffer elements that ensure the maintenance of environmental sustainability, but at the same time, new areal and linear objects are created. The formation of the latter in the recreational framework of the city is due to eco-revitalization, which allows using conservation and decoration to create «continuous» recreational corridors laid along the rivers of the city. The recreational potential of the natural areas of the recreational framework is assessed as favorable and relatively favorable. The conducted recreational assessment of natural territories revealed problems and prospects of development.

Keywords: recreational framework, recreational potential, landscaping, transport accessibility

В современных условиях прогрессирующей урбанизации рекреационная среда является необходимым компонентом пространственно-планировочной структуры города, которую необходимо учитывать при разработке новых стратегий развития территорий. В современном мире наиболее эффективным и комплексным научно-практическим подходом современного градостроительства к планированию, развитию и трансформации городов являются концепции, обусловленные созданием гибкой социально-ориентированной структуры, трансформирующейся под изменения в окружающем пространстве и позволяющей сохранить экологическую устойчивость городских экосистем. С последней тесно переплетены ландшафтный урбанизм, биоурбанистика,

экологический урбанизм и другие, направленные на преобразование городских территорий и формирование каркаса, обеспечивающего экологическую устойчивость и улучшающего качество окружающей среды, в которой проживает человек [1]. В научной литературе встречается множество вариаций каркаса – экологический [2, 3], эколого-рекреационный, природно-рекреационный, рекреационный [4, 5]. Это обусловлено тем, что рекреационный каркас города выполняет рекреационное обслуживание, архитектурно-планировочное регулирование, эстетическое, санитарно-гигиеническое, природоохранное, климаторегулирующее и биологическое обеспечение [4], в то же время озелененные пространства улучшают ветровой, шумовой, радиационный режимы, ионизацию и фитонизацию воздуха, создают микроклиматический комфорт для жизнедеятельности городского населения [6], способствуют профилактике заболеваний средствами ландшафтной рекреации. Анализ литературы свидетельствует о возрастании научного интереса к реализации функций рекреации через создание рекреационно-оптимальной структуры урбанизированных пространств.

Цель исследования: оценка рекреационного потенциала природных территорий рекреационного каркаса города. Объект исследования – рекреационный каркас города г. Белгород.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследования была выбрана территория г. Белгорода и его пригород. Эмперической базой исследования послужили статистические данные Белгородстата, по состоянию природных и социально-экономических ресурсов города и различные исследования в данных областях, и фондовые материалы управления архитектуры и градостроительства г. Белгорода. В исследовании применялись методы сравнительного анализа, статистический и картографический методы, структурно-функциональный подход.

Результаты исследования и их обсуждение

Рекреационный каркас территории города – устойчивая рекреационная среда, перспективная и используемая городским населением для восстановления его здоровья. Рекреационный каркас территории связан с существующей туристско-рекреационной системой и формируется и развивается вместе с ней. На территории Белгородской агломерации выделяют такие композиционные, функциональные и планировочные элементы туристско-рекреационной системы, как ареалы, ядра, оси, локусы. Река Северский Донец выступает как «ось» туристско-рекреационной системы, имеющей вид «ожерелья» – по ее берегам располагаются «локусы» и «ядра». Другой «осью» туристско-рекреационной системы выступает река Везелка. Побережье р. Везелка и Северский Донец представляют собой крупный линейный элемент рекреационной системы – набережную протяженностью 15,5 км. Еще одной осью туристско-рекреационной системы выступают дороги областного и регионального значения. При рассмотрении туристско-рекреационной системы г. Белгорода озелененные территории, достопримечательности и объекты рекреационной инфраструктуры выступают в качестве локусов городского пространства реализующих разнообразные рекреационные функции (рис. 1). Основная их часть расположена в границах Центрального и Южного планировочных районов. Их роль и ценность высока для жителей города.

Площадь зеленых насаждений общего пользования постоянно увеличивается, так в 1980-х гг. был высажен массив «Сосновка». В настоящее время в черте г. Белгорода и его пригорода находятся зеленые насаждения общего пользования, представленные 12 лесопарками, 7 парками, 5 бульварами, 36 скверами, 3 аллеями, 10 рекреационными зонами и набережной [7]. Вопросы озеленения города и создания зеленого каркаса по-прежнему актуальны, поскольку ощущается недостаток озелененных общественных пространств [8, 9].

Оценка рекреационного потенциала природных территорий рекреационного каркаса города следует проводить с учетом комплекса показателей и четким указанием объекта оценки – планировочного района (квартала) и природного объекта. Рекреационный потенциал последнего рассматривают как совокупность индикаторов: статус, площадь, озеленение, емкость, санитарно-гигиеническое состояние, доступность, благоустройство, безопасность, ценность рекреационного объекта, разнообразие выполняемых функций, коэффициент рекреационного потенциала планировочного района. Оценка городских рекреационных территорий по перечисленным показателям будет оцениваться как суммарное значение, помноженное на коэффициенты разнообразие выполняемых функций, рекреационный потенциал планировочного района.

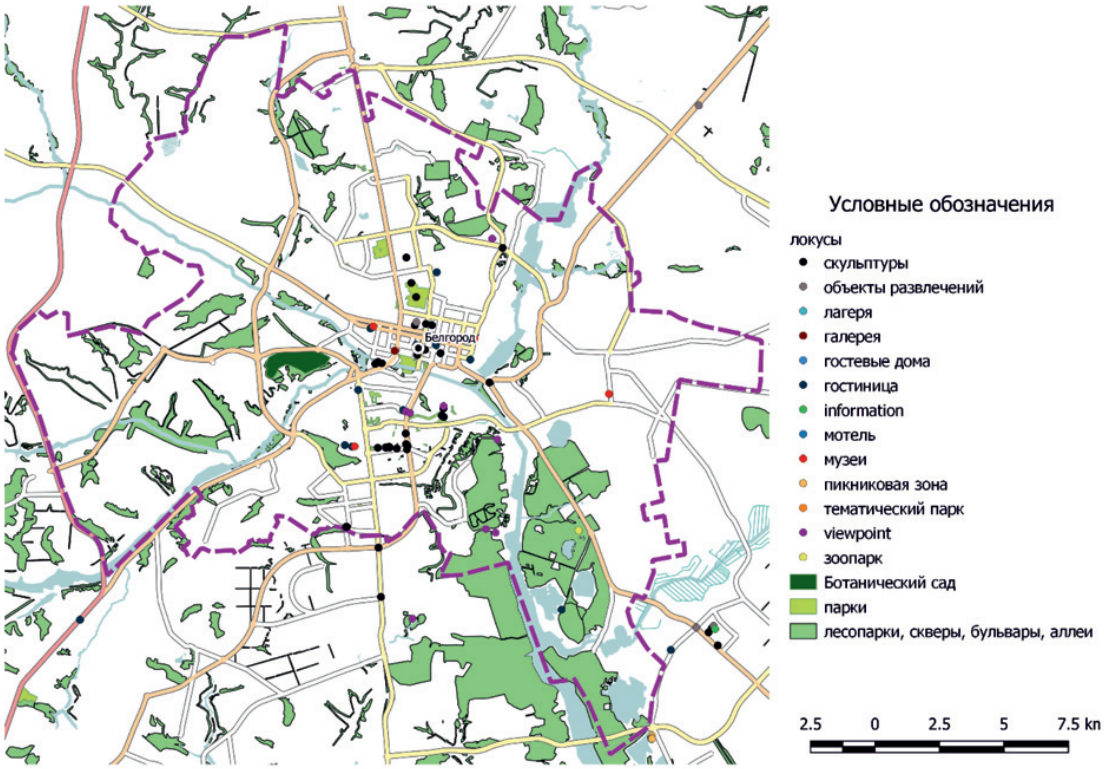


Рис. 1. Локусы туристско-рекреационной системы г. Белгорода

Таблица 1

Насаждения общего пользования

Район	Парки, га	Лесопарки, га	Скверы, бульвары, аллеи, га	Сады, га	Общая площадь, га	Обеспеченность на 1 чел./га
Центральный	45,1	154	38,96	–	238,06	0,00335
Южный	43	360,6	19,71	71	494,31	0,0033
Западный	–	50	1	–	51	0,0008
Восточный	25,2	996	1,19	–	1022,39	0,0144
Итого	113,3	1560, 6	60,86	71	1805,76	0,0046

Согласно требованиям нормативной документации, суммарная площадь озелененных территорий общего пользования, должна быть не менее 16 м^2/чел, поскольку г. Белгород относится к категории крупных городов. Таким образом, в городе должно быть не менее 0,62 тыс. га зеленых насаждений общего пользования [9]. Согласно «Программе комплексного развития социальной инфраструктуры городского округа «Город Белгород» на 2017–2025 годы» планируемая площадь зеленых насаждений в 2025 г. составит 0,64 тыс. га [10].

По данным федеральной службы государственной статистики в г. Белгороде на 1 января 2019 г. проживает 392,4 тыс. чел., обеспеченность зелеными насаждениями при площади 1805,76 га составила 46 м^2/чел (табл. 1).

Зеленые насаждения общего пользования представлены во всех планировочных районах, однако они достаточно разрознены. Зеленые территории, располагающиеся в пределах планировочного района, используются для ежедневной рекреационной деятельности, а те, что находятся в соседних планировочных районах – для еженедельной. В восточном планировочном районе располагается 56,6% зеленых насаждений общего пользования (табл. 1). Обеспечен-

ность зелеными насаждениями составляет 0,0144 чел/га. В его границах располагается формирующийся «Мультипарк «Белгородский».

Удельный вес озелененных пространств г. Белгорода составляет 31,5 %, что на 8,5 % ниже принятой нормы. Отмечается диспропорция в структуре функциональных зон г. Белгорода. Соотношение между производственной, селитебной и рекреационной территориями составляет соответственно 11,2 % – 18,9 % – 11,4 % (1:1,7:1) вместо 1:2:3 [7]. Согласно Генеральному плану развития городского округа «Город Белгород» до 2025 г. доля рекреационных территорий достигнет 14,7 %, а соотношение между функциональными зонами города будет составлять 1:2,3:1,2. Таким образом, и в 2025 г. останется актуальной проблема увеличения доли рекреационных зон в 3 раза. Увеличение доли рекреационных зон планируют за счет формирования рекреационных зон в пригородной лесопарковой зоне, рекреационного обустройства промышленных районов города.

Особое внимание при оценке зеленых насаждений следует уделить рекреационным коридорам – скверам и аллеям. Наиболее развитая сеть рекреационных коридоров характерна для Центрального планировочного района – самой старой части города (табл. 1). Для этого района характерно коттеджная застройка, 1–2-этажные здания в историческом центре и 5-этажные здания севернее исторической части города. Озеленение микрорайона составляет 70 %. На втором месте по площади рекреационного коридора находится Южный район. Для него характерно многоэтажное жилищное строительство, начатое в 1970-е гг. и продолжающееся до настоящего времени. В Центральном планировочном районе самая большая площадь занята парками. В зависимости от вида городского рекреационного объекта и численности населения проводилось ранжирование рекреационных территорий по обеспеченности озелененной территорией, позволяющей восстановить психологические и физические силы человека. Самыми крупными парками являются Пикник-парк и зоопарк, расположенные в Южном и Восточном районах соответственно (рис. 2).

В дальнейшем проводилась оценка озеленения территории парков (озеленение 90 %), скверов (не менее 75 %), лесопарков (более 90 %). Расчет процента озеленения территории производится в геоинформационной системе на основе данных космоснимков в таблице атрибутивов с помощью инструмента CalculateField. Так в соответствии с нормативами, в парке культуры и отдыха им. В.И. Ленина площадь озеленения должна составлять не менее 154610 га. В настоящее время это значение ниже.

В зависимости от площади и типа насаждений зеленые территории имеют ориентировочный уровень предельной рекреационной нагрузки. Рекреационная емкость лесопарков и парков представлена в табл. 2. Так предельная рекреационная нагрузка на зеленые территории Центрального планировочного района не должна превышать 21220 человек. В соответствии с нормами рекреационных нагрузок для лесной и лесостепной зоны ООПТ «Городской лес» среднегодовая рекреационная емкость территории лесопарка для экскурсий будет составлять 265 чел/га, для планового туризма 88 чел/га, для самодеятельного туризма 40 чел/га, для массового повседневного отдыха 66 чел/га.

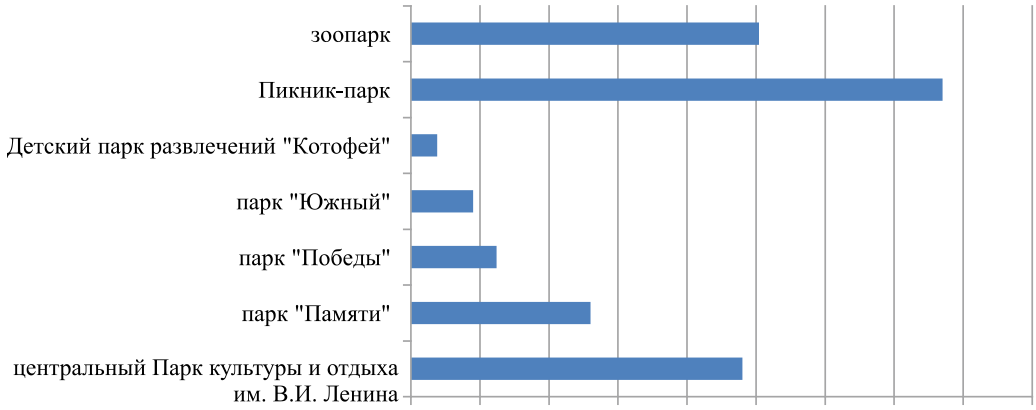


Рис. 2. Площадь парков г. Белгорода

Таблица 2

Рекреационная емкость лесопарков, парков Центрального планировочного района

Название	Площадь, га	Рекреационная емкость, чел
ООПТ «Оскочное»	56,0	2800
ООПТ «Уткина Яруга»	31,4	1570
ООПТ «Кондраковское»	17,1	855
ООПТ «Городской лес»	44,2	2210
ООПТ «Гринево»	5,3	265
Центральный Парк культуры и отдыха им. Ленина	24	7200
Парк «Памяти»	13	3900
Парк «Победы»	6,2	1860
Детский парк развлечений «Котофей»	1,9	570
Итого	199,1	21220

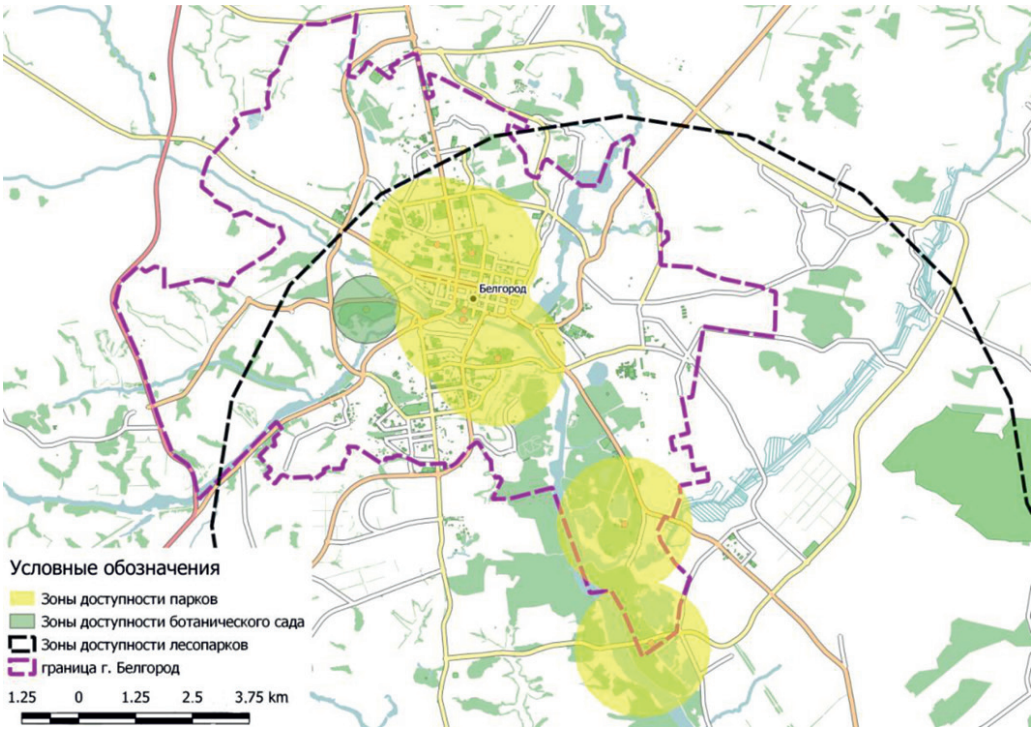


Рис. 3. Радиус обслуживания населения г. Белгорода

На следующем этапе оценки, в геоинформационной системе от границ парка (не более 1200 м), лесопарка (20 км), сквера (400 м), сада (600 м) строились буферные зоны в соответствии с заданными расстояниями. Соответственно с этими нормативами данная граница считалась конечной точкой при оценке благоприятности рекреационной территории. Если жилые кварталы, для которых проектировался данный рекреационный объект, попадали в буферную зону превышающую заданные параметры, то она оценивалась как неблагоприятная. Согласно полученным данным парки города находятся в пределах транспортной доступности для жителей своего планировочного района (Центрального, Южного и Восточного планировочных районов) г. Белгорода, лесопарки – ООПТ «Сосновка», «Массив» в зоне транспортной доступности для Восточного и Центрального планировочного районов и частично для Южного планировочного района (рис. 3). Если Пикник парк и Зоопарк относить к категории лесопарков, а не парков, то в радиус обслуживания населения попадают Юж-

ный, Восточный и частично Центральный планировочные районы.

Рекреационный потенциал г. Белгорода также зависит от такого аттрактивного свойства, как состояние рекреационных объектов. По этому показателю территория оценивалась как благоприятная, относительно благоприятная и неблагоприятная. Благоприятное состояние характерно для лесопарков ООПТ «Оскочное», «Каменный лог», «Половинное», «Массив», «Сосновка», «Лесничество» и всех парков, за исключением парка Памяти и Центрального парка культуры и отдыха им. В.И. Ленина, которые нуждаются в реконструкции и оцениваются как относительно благоприятные.

При оценке безопасности рекреационного объекта учитывали следующие составляющие: оценка для здоровья рекреантов, опасность противоправных действий в отношении рекреантов, опасность со стороны технических средств. При оценке безопасности рекреационного объекта для здоровья рекреантов в первую очередь учитывался породный состав насаждений. Так территория Пикник парка благоприятна не для всех категорий отдыхающих, поскольку хвойные насаждения негативным образом влияют на состояние здоровья людей больных сердечно-сосудистыми заболеваниями. Нахождение в посадках аллей тополей негативным образом сказывается на здоровье людей страдающих аллергией, поскольку вызывает астматические приступы. Также необходимо учитывать состояние древостоя. По данному показателю все зеленые насаждения отнесены к категории благоприятных.

Городские рекреационные территории г. Белгорода имеют местный, региональный и федеральный статус. При оценке рекреационных объектов коэффициент на 1,5 будет увеличиваться рекреационная ценность Белгородского государственного музея-диорама «Курская битва. Белгородское направление», Белгородского государственного музея народной культуры, селище 1 (Дальние Пески) и другие. Коэффициент 1,3 будет применяться для Преображенского, Иосафовского соборов, Крестовоздвиженской церкови, жилого дома купца Мачурина, усадьбы графини А.В. Ластовской, церкви Михаила Архистратига и других. При этом такой показатель, как ценность рекреационного объекта, будет низкой для усадьбы графини А.В. Ластовской, поскольку элементы величия здания сохранились лишь во внутренней отделке. В настоящее время данный объект не способен привлечь для отдыха жителей других микрорайонов, городов и стран. Парки, находящиеся в Центральном и Южном планировочном районах, также не способны привлечь для отдыха жителей других микраройонов, городов и стран, за исключением парка «Победы». В нем была проведена реконструкция и в летний период он привлекает гостей из области. Остальные рекреационные территории нуждаются в реконструкции.

В то же время формирующийся «Мультипарк «Белгородский», находящийся в Восточном планировочном районе, привлекает жителей других микрорайонов и гостей из области, хотя находится в неблагоприятной зоне транспортной доступности.

Для выявления коэффициента рекреационной ценности планировочного района было проведено ранжирование территории по плотности объектов развлечения и питания. При зонировании территории был взят квадрат площадью 25 га. Результаты зонирования показали наличие двух ядер сосредоточения объектов питания, проживания, развлечения и культурно-исторических объектов – это Центральный и Южный районы. В настоящее время по берегам реки Северский Донец формируется рекреационное ядро межрегионального значения – формирующийся «Мультипарк «Белгородский», который уже включает в себя зоопарк, динопарк, парк-отель «Европа», ресторан «Лес и Лис» и другие локусы.

Выводы

Таким образом, в пределах города продолжает формироваться рекреационный каркас. Рекреационный потенциал природных территорий рекреационного каркаса оценивается как благоприятный и относительно благоприятный. Элементы рекреационного каркаса – ООПТ, выступают в нем в качестве буферных территорий. В структуре рекреационного каркаса г. Белгорода выделяются крупные и малые площадные и линейные структуры. Формирование последних в рекреационном каркасе города обусловлено экоревитализацией, позволяющей с помощью консервации и декорирования создать «непрерывные» рекреационные коридоры, проложенные вдоль рек города. В то же время проведенная оценка позволила выявить необходимость расширения сети рекреационных коридоров в Южном планировочном районе и зоны в нем не обеспеченные природными территориями.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках научного проекта № 18-45-310008.

Список литературы / References

1. Петрина О.А., Стадолин М.Е. Комфортная городская среда: тенденции и проблемы организации // Вестник университета. 2018. № 6. С. 34–38. DOI: 10.26425/1816-4277-2018-6-34-38.

Petrina O.A., Stadolin M.E. Comfortable urban environment: trends and problems of organization // Vestnik universiteta. 2018. № 6. P. 34–38 (in Russian).

2. Ливенцева А.В., Лисова О.С. Рекомендации по формированию природно-экологического каркаса крупного города (на примере г. Воронежа) // Архитектурные исследования. 2016. № 1. С. 65–74.

Liventseva A.V., Lisova O.S. Recommendations on the formation of natural and ecological framework of a large city (in example. Voronezh) // Arkhitekturnyye issledovaniya. 2016. № 1. P. 65–74 (in Russian).

3. Молостов А.Н., Мулендеева А.В. Экологический каркас Чебоксарского городского округа // Эколого-геоморфологические исследования в урбанизированных и техногенных ландшафтах (Арчиковские чтения – 2015). Сборник материалов Всероссийской летней молодежной школы-конференции (Чебоксары, 23–28 августа 2015 г.). Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2015. С. 243–249.

Molostov A.N., Mulendeeva A.V. Ecological framework of Cheboksary city district // Ekologo-geomorfologicheskiye issledovaniya v urbanizirovannykh i tekhnogennykh landshaf-takh (Archikovskiye chteniya – 2015). Sbornik materialov Vserossiyskoy letney molodezhnoy shkoly-konferentsii (Cheboksary, 23–28 avgusta 2015 g.). Cheboksary: TSNS «Interaktiv plyus», 2015. P. 243–249 (in Russian).

4. Исмагилова С.Х., Залётова Е.А. Формирование ландшафтно-рекреационного и транспортного каркасов городского округа г. Казань // Известия КГАСУ. 2016. № 3. С. 110–117.

Ismagilova S.H., Zaletova E.A. Formation of landscape-recreational and transport frameworks of the urban district of Kazan // Izvestiya KGASU. 2016. № 3. P. 110–117 (in Russian).

5. Казаков Н.А., Еремеева С.С., Караганова Н.Г., Михайлова Е.В. Природно-рекреационный каркас городского округа и долины малых рек (на примере города Чебоксары) // Успехи современного естествознания. 2018. № 7. С. 136–141.

Kazakov N.A., Eremeeva S.S., Karaganova N.G., Mikhailova E.V. Natural and recreational framework of the urban district and the valley of small rivers (on the example of the city of Cheboksary) // Advances in current natural sciences. 2018. № 7. P. 136–141 (in Russian).

6. Василенко Н.А. Системные принципы формирования ландшафтно-рекреационной среды крупного города: автореф. дис. ... канд. арх. наук. Москва, 2009. 23 с.

Vasilenko N.A. System principles of formation of landscape and recreational environment of a large city: avtoref. dis. ... kand. arkh. nauk. Moscow, 2009. 23 p. (in Russian).

7. Королева И.С., Королев А.С. Процесс урбанизации береговых пространств современного города (на примере Белгородской городской агломерации) // Успехи современного естествознания. 2018. № 4. С. 127–132. DOI: 10.17513/use.36736.

Korolyova I.S., Korolev A.S. The process of urbanization of coastal spaces of the modern city (on the example of the Belgorod urban agglomeration) // Advances in current natural sciences. 2018. № 4. P. 127–132 (in Russian).

8. Программа комплексного развития социальной инфраструктуры городского округа «Город Белгород» на 2017–2025 годы. [Электронный ресурс]. URL: www.beladm.ru/media/publication_backbone_media/2017/7/26/okonchatelnaya-programma-s24b9f65bfd8127ff613f10e7363e388d.docx (дата обращения: 19.10.2019).

The program of complex development of social infrastructure of the city district «City of Belgorod» for 2017–2025. [Electronic resource]. URL: www.beladm.ru/media/publication_backbone_media/2017/7/26/ okonchatelnaya-programma-s24b9f65bfd8127ff613f10e7363e388d.docx (date of access: 19.10.2019) (in Russian).

9. Полякова Т.А. Состояние и оценка функционально-планировочной структуры крупного города (на примере г. Белгорода): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. 2011. 23 с.

Polyakova T.A. State and assessment of the functional and planning structure of a large city (on the example of Belgorod): avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk. 2011. 23 p. (in Russian).

10. Об утверждении генерального плана городского округа «Город Белгород» Белгородской области. Распоряжение Департамента строительства и транспорта Белгородской области от 14 марта 2018 года № 185. [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/550205838 (дата обращения: 17.10.2019).

About the approval of the master plan of the city district «The city of Belgorod» of the Belgorod region. The order Of Department of construction and transport of the Belgorod region of March 14, 2018 № 185. [Electronic resource]. URL: http://docs.cntd.ru/document/550205838 (date of access: 17.10.2019) (in Russian).

УДК 504.53:504.054(470.21)

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕДИ, ВАНАДИЯ, НИКЕЛЯ И СВИНЦА В ПОЧВАХ ГОРОДА МОНЧЕГОРСКА

Котова Е.И., Кузнецова И.А., Кряучюнас В.В., Игловский С.А., Мироненко К.А., Бедрина Д.Д.

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова» РАН, Архангельск, e-mail: ecopp@yandex.ru

Несмотря на то, что строительство г. Мончегорска велось с учетом розы ветров, выбросы от производственных цехов и теплоэлектростанции комбината оказывают значительное влияние на состав воздуха и почв города. Целью исследования являлась оценка уровней содержания тяжелых металлов в почвах г. Мончегорска. В рамках работы было отобрано 50 проб почв на территории г. Мончегорска, проведен анализ проб на зольность, фракционный состав, содержание валовых форм никеля, меди, ванадия и свинца. Анализ состава проб проводили рентгеноспектральным методом. Проведена статистическая обработка данных, корреляционный и факторный анализ. По результатам анализа установлено, что состав городских почв в основном представлен средними (0,25–0,5 мм) и мелкими (0,1–0,25 мм) песчаными частицами (42 %) со значительным содержанием гравия (19 %). По данным проведенных работ установлено, что содержание меди, никеля, ванадия и свинца в почвах г. Мончегорска нередко превышает предельно допустимые значения. Наиболее загрязненными являются почвы в районе безымянного озера, в аллее на пр. Металлургов, районе правого берега р. Нюдуай и поселка «31 километр». Высокие содержания элементов определены также в почве парковой зоны, расположенной вдоль Ленинградской набережной. Относительно чистыми являются почвы юго-восточной окраины города и жилой квартал, ограниченный улицами Бредова, Комарова, Гагарина и Ферсмана. Данные статического анализа выявили большую пространственную неоднородность содержания рассматриваемых металлов в городских почвах. Корреляционный анализ данных о содержании элементов и фракционном составе почв показал наличие значимой связи содержания никеля и цинка с фракцией почвы 10 мм. Факторный анализ данных о содержании элементов в пробах почв исследованной территории показал наличие трех факторов, влияющих на состав городских почв. Первый фактор, регулирующий состав городских почв, определяется фракционным составом.

Ключевые слова: почвы, Мончегорск, никель, медь, ванадий, свинец

SPATIAL DISTRIBUTION OF COPPER, VANADIUM, NICKEL AND LEAD IN THE SOILS OF MONCHEGORSK

Kotova E.I., Kuznetsova I.A., Kryauchyunas V.V., Iglovskiy S.A., Mironenko K.A., Bedrina D.D.

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research RAS, Arkhangelsk, e-mail: ecopp@yandex.ru

Emissions from the production halls and thermal power plants of the plant have a significant impact on the composition of the air and soils of the Monchegorsk. The aim of the study was to evaluate the levels of heavy metals in soils of Monchegorsk. 50 soil samples were taken on the territory of city. Analysis of samples for ash content, fractional composition, statistical data processing, correlation and factor analysis were carried out. Content of gross forms of nickel, copper, vanadium and lead was carried out by X-ray spectrum analysis. According to the analysis, it was established that the composition of urban soils is mainly represented by medium (0.25-0.5 mm) and small (0.1-0.25 mm) sand particles (42 %) with a significant gravel content (19 %). According to the data of the research, it was found that the content of metals in the soils of Monchegorsk often exceed the maximum permissible concentrations. The most polluted are the soils in the area of the nameless lake, in the alley on Metallurgov ave., the right bank of the river Nyuduay, the village “31-kilometer” and in the park zone located along the Leningradskaya embankment. Relatively clean are the soils of the south-eastern outskirts of the city. Statistical analysis data revealed a large spatial heterogeneity of the content of the considered metals in urban soils. Factor analysis of data of the content of elements in soil samples of the studied territory showed that the composition of urban soils is determined by the fractional composition.

Keywords: soil, Monchegorsk, nickel, copper, vanadium, lead

Ведущее предприятие г. Мончегорска – АО «Кольская горно-металлургическая компания» (площадка «Североникель») осуществляет производство цветных металлов – никеля, меди, кобальта, а также некоторых драгоценных металлов и является основным источником загрязнения тяжелыми металлами компонентов природной среды не только г. Мончегорска, но и водосборов озер юго-западной и центральной частей Мурманской области. Газопылевые выбросы предприятия, содержат в себе значительные количества Ni и Cu, и, в меньшей степени, Ag, Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, Hg, Mg, Mn, Pb, Sb, Sr, Th, Tl, V, Zn [1]. Несмотря на то, что для снижения негативного воздействия комбината строительство г. Мончегорска велось с учетом розы ветров, выбросы от производственных цехов и теплоэлектростанции комбината оказывают

значительное влияние на состав воздуха и почв города. Помимо влияния выбросов комбината, дополнительную антропогенную нагрузку оказывает ТЭЦ. Дополнительное количество никеля поступает в атмосферу при сжигании мазута, на котором работает часть ТЭЦ арктического региона. Кроме никеля, летучая зола может содержать до 8 мас. % ванадия [2].

Тяжелые металлы не подвержены микробиологической или химической деградации и способны накапливаться в почвах в течение длительного времени. В свою очередь почвы могут стать вторичными источниками загрязнения воздуха, растений и природных вод, что может вызвать нарастание экологически опасных последствий. Загрязнение природных сред приводит к увеличению поступления токсикантов в организм человека. Последние подробные данные о почвах г. Мончегорска опубликованы в 2006 г. и отражают содержание в них подвижных форм тяжелых металлов на 2002 г. [3].

С учетом того, что, с одной стороны, подавляющая часть населения Арктики проживает в городах, а с другой – данных о качестве городских почв недостаточно, представляется необходимым изучение их состава как компонента окружающей среды человека.

Цель исследования: оценка уровней содержания тяжелых металлов в почвах г. Мончегорска. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: произвести описание и отбор проб почвы селитебных ландшафтов; установить фактические уровни содержания тяжелых металлов в почвах, выявить наиболее загрязненные участки.

Материалы и методы исследования

В ходе проведения экспедиционных работ в 2018 г. было отобрано 50 проб почв на территории г. Мончегорска (рис. 1).

Отбор проб осуществляли с площадок размером 1x1 м методом конверта в плотные холщовые мешки (общий вес – не менее 1 кг). Глубина отбора проб составляла 5–10 см. Подготовка проб к анализу включала высушивание до воздушно-сухого состояния, извлечение крупных включений (булыжники, ветки, неразложившиеся корешки, мусор), просеивание и перетирание.

Определение гранулометрического состава почвы осуществляли ситовым методом путем просеивания навески почвенного образца через набор стандартных сит, различающихся размером ячеек (10 мм, 2 мм, 1 мм, 0,5 мм, 0,25 мм, 0,1 мм и 0,045 мм) с применением аналитической просеивающей машины серии Retsch AS 200 Control. Для дальнейших анализов использовали фракцию менее 2 мм.

Определение зольности почвы проводили согласно ГОСТ 27784-88 путем озоления проб почвы в лабораторно-экспериментальной муфельной печи при температуре (525 ± 25) °С.

Анализ состава проб был проведен в ЦКП НО «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова рентгеноспектральным методом с применением энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра типа EDX (Shimadzu) по методике ФР.1.31.2017.25613. Таблетирование измельченных проб (до фракции 71 мкм) проводили с использованием связующего – поливинилового спирта.

Статистическая обработка данных включала расчет среднего арифметического значения, медианы, стандартного отклонения, стандартной ошибки среднего и была произведена с помощью программного обеспечения StatSoft, Inc. (2011). STATISTICA (data analysis software system), version 10. Кроме того, были рассчитаны коэффициенты парной корреляции R (квадратная матрица), критический уровень значимости принимали $p < 0,05$. Факторный анализ применялся в целях выявления количества и степени влияния различных параметров среды на исследуемые объекты.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ гранулометрического состава почв показал, что состав городских почв в основном представлен средними (0,25–0,5 мм) и мелкими (0,1–0,25 мм) песчаными частицами (42 %) со значительным содержанием гравия (19 %).

Среднее содержание элементов в почвах г. Мончегорска приведено в табл. 1, пространственное распределение в долях ПДК представлено на рис. 2.

Валовое содержание *меди* в органогенном горизонте почв Кольского полуострова изменяется от 2,59 мг/кг до 1950 мг/кг [5]. Во всех пробах почв, отобранных в городе Мончегорске, концентрация меди превышает ПДК в два и более раз, а в некоторых почвенных образцах – в 520 раз. Так, аномально высокие концентрации Cu (28640 мг/кг) зафиксированы в торфяных отложениях у безымянного озера (точка 41 рис. 1, рис. 2 (А)).

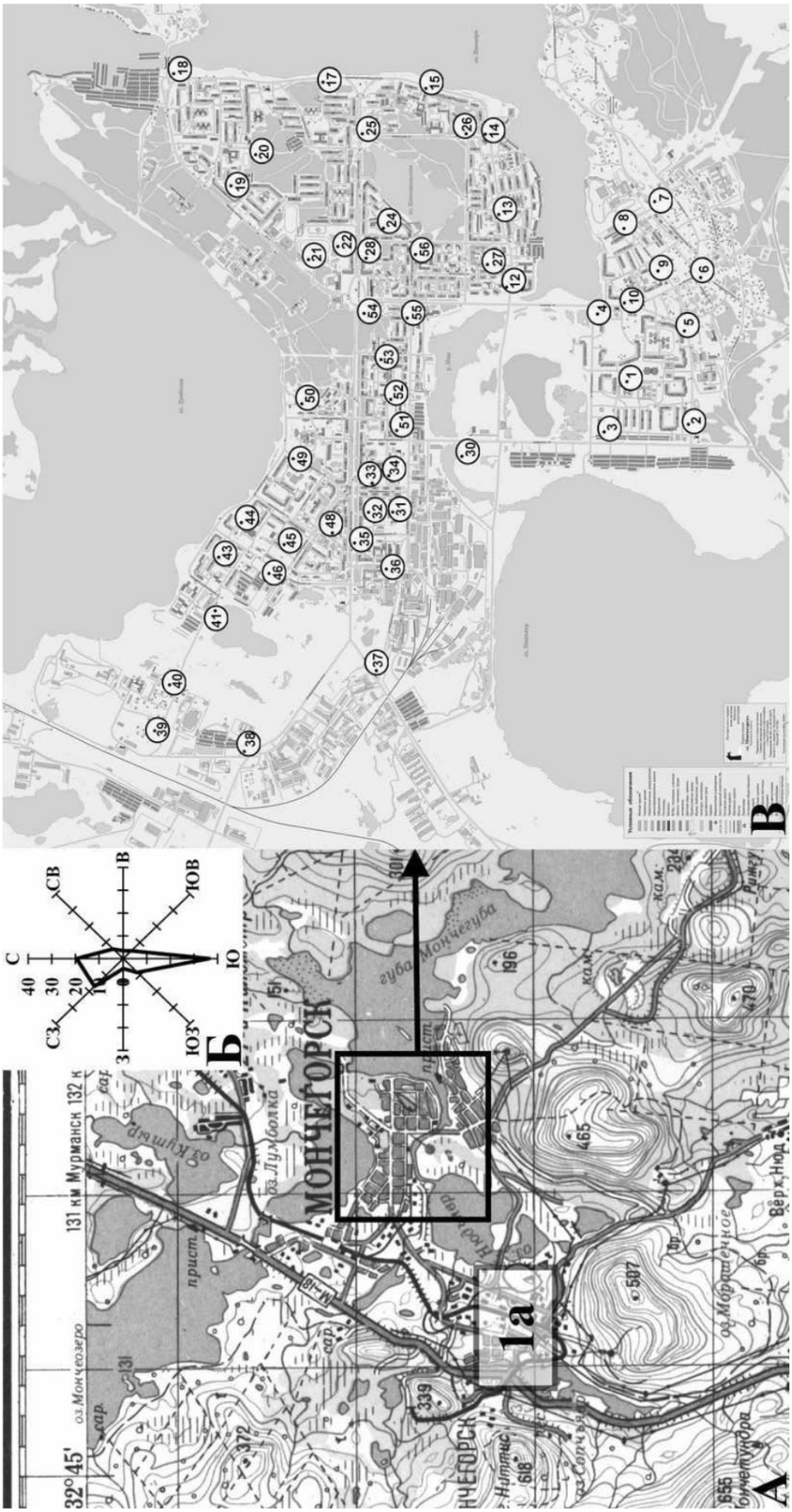


Рис. 1. Район исследования: А – Карта расположения комбината «Североникель» (1а) относительно г. Мончегорска, Б – Роза ветров, В – Места расположения отбора проб

Таблица 1

Содержание элементов в пробах

Элемент	V, мг/кг	Ni, мг/кг	Cu, мг/кг	Pb, мг/кг
Содержание элементов в пробах, мг/кг	60 – 240 * / 85 ± 26 (80)	110 – 35680 / 2651 ± 5316 (985)	110 – 28640 / 2502 ± 4756 (760)	10 – 630 / 65,9 ± 106 (30)
ПДК	150**	85***	55***	32**

Примечание. * – в числителе – минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее значение и стандартное отклонение, в скобках – медиана; ** – в соответствии с ГН 2.1.7.2042-06; *** – в соответствии с [4].

Высокое содержание Cu (8320–12280 мг/кг) зафиксировано также в образцах почвы, отобранных в районе домов 5 и 10 по просп. Металлургов (точки 35 и 48 рис. 1, рис. 2 (А)). Следует отметить, что в данном районе расположен детский сад. Высокое значение концентрации Cu в почве (12270 мг/кг), кроме того, обнаружено в почвах поселка «31 километр» (точка 39 рис. 1, рис. 2 (А)). Показатель содержания меди в почвах имеет обратную значимую корреляцию с зольностью ($R = -0{,}5241$, $p = 0{,}000$), что предположительно отражает высокую удерживающую способность органических компонентов почвы. Характерные для г. Мончегорска кислотные осадки способствуют повышению миграционной активности меди, однако такая миграция непродолжительна и при нейтрализации кислых вод сульфаты меди адсорбируются гумусом и глинами. Анализ пространственного распределения Cu в почвогрунтах г. Мончегорска показал, что основным геохимическим барьером на пути миграции Cu из атмосферы в городские почвогрунты является верхний органический горизонт почв, где медь активно адсорбируется основными фракциями гумусовых веществ – гуминовыми и фульвокислотами.

В целом на территории города средняя концентрация *ванадия* в почвах не превышает ПДК (табл. 1). Превышение ПДК в почве было обнаружено в торфянистых почвах у безымянного озера (точка 41 рис. 1, рис. 2 (Б)), где концентрация V составляет 240 мг/кг. Данная аномалия может быть связана со способностью ванадия аккумулироваться в условиях пониженного окислительно-восстановительного потенциала среды (что характерно для заболоченных почв) [6]. В близко расположенном поселке «31 километр» также зафиксированы относительно повышенные концентрации V в отобранных почвенных образцах – 100 мг/кг (точка 40 рис. 1, рис. 2 (Б)) и 120 мг/кг (точка 39 рис. 1, рис. 2 (Б)). Повышенные значения V в городских почвах отмечены на правом берегу р. Нюдуай (точка 30 рис. 1, рис. 2 (Б)), где концентрация V составляет 130 мг/кг. Значимая обратная корреляция между зольностью и содержанием ванадия в почвах ($R = -0{,}4534$, $p = 0{,}001$) отражает влияние бедной ванадием подстилающей породы – морены. Анализируя поведение V в почве, следует учитывать, что торфянистые почвы характеризуются самым низким содержанием ванадия, а сам ванадий относится к группе слабо мигрирующих элементов. Таким образом, в данном районе отбора поступление V в почвы превышает его вынос. Учитывая преобладающее в течение года южное направление ветра, можно утверждать, что основным источником загрязнения рассматриваемой территории является деятельность металлургического комбината. Еще одним участком, где зафиксировано повышение концентрации V (120 мг/кг) в верхнем почвенном горизонте, является парковая зона вдоль Ленинградской набережной (точка 17 рис. 1, рис. 2 (Б)). На данном участке представлены подзолы с хорошо оформленным почвенным профилем, а аккумуляция V в верхнем гумусовом горизонте, вероятно, связана со способностью ванадия активно участвовать в комплексообразовании с органическими лигандами.

Многолетние исследования по программе изучения Баренц-региона показали, что среднее валовое содержание *никеля* в органогенном горизонте почв Кольского полуострова – 14,4 мг/кг [5]. Концентрация Ni в почвогрунтах г. Мончегорска изменяется от 110 мг/кг до 35680 мг/кг (табл. 1). Среднее содержание Ni в городской почве Мончегорска превышает ПДК в 30 раз, а аномально высокие значения – в 100–420 раз. Все почвенные образцы с аномально высокими значениями Ni были отобраны в трех-четырех километрах к северу от комбината (точки 41, 39, 30 рис. 1, рис. 2 (В)). Учитывая розу ветров, можно сделать вывод, что генезис данных аномалий напрямую связан с влиянием выбросов предприятия «Североникель».

А *Б*

В *Г*

Рис. 2. Пространственное распределение химических элементов в почве г. Мончегорска (доли ПДК): А – Cu, Б – V, В – Ni, Г – Pb

Валовое содержание *свинца* в органогенном горизонте почв Кольского полуострова составляет в среднем 15,4 мг/кг, изменяясь от 3,09 до 101 мг/кг [5]. В целом на территории города содержание свинца в почве превышало ПДК в 43% проб. Максимальные концентрации свинца в почве наблюдаются вдоль берега оз. Имандра, в точках 17 и 18 (рис. 1) – 300 и 630 мг/кг соответственно, что выше допустимых значений в 10 и 21 раз. Также превышения ПДК в 4–9 раз обнаружены на правом берегу р. Нюдуай (точка 30, рис. 1, рис. 2 (Г)), в поселке «31 километр» (точки 39–40, рис. 1, рис. 2 (Г)), у безымянного озера (точка 41 рис. 1, рис. 2 (Г)), на территории аллеи вдоль пр. Металлургов (точка 35, рис. 1, рис. 2 (Г)) и в районе поликлиники (точка 53, рис. 1, рис. 2 (Г)). Превышения допустимых значений для свинца в почве приурочены отчасти к местам большого скопления автотранспорта, гаражным кооперативам и станциям обслуживания транспорта. Это обусловлено тем, что свинец является одним из основных загрязнителей, поступающих в окружающую среду с отработанными газами автомобилей [7].

Таблица 2

Результаты факторного анализа

Фактор / Показатель	Фактор (1)	Фактор (2)	Фактор (3)
V, мг/кг	**0,82**	0,01	0,22
Ni, мг/кг	**0,80**	–0,26	0,22
Cu, мг/кг	**0,78**	–0,30	0,27
Pb, мг/кг	0,63	0,51	0,11
10 мм,%	**0,74**	–0,09	–0,54
2 мм,%	0,43	0,27	0,40
1 мм,%	0,13	0,39	0,41
0,5 мм,%	–0,65	0,23	0,23
0,25 мм,%	**–0,83**	–0,04	0,13
0,1 мм,%	**–0,75**	–0,14	0,34
0,045 мм,%	–0,44	–0,03	0,59
менее 0,045 мм,%	–0,28	0,19	0,60
Общая дисперсия	9,94	4,08	2,71
Доля общей дисперсии	0,34	0,14	0,09

Данные *статического анализа* выявили большую пространственную неоднородность содержания рассматриваемых металлов в городских почвах (табл. 1), о чем свидетельствуют высокие значения стандартного отклонения. Увеличение амплитуды колебаний значений концентраций металлов в почве является одним из признаков загрязнения.

Корреляционный анализ данных о содержании элементов и фракционном составе почв показал наличие значимой связи содержания никеля и цинка с фракцией почвы 10 мм (коэффициент корреляции R = 0,38–0,45, p = 0,001–0,002).

Факторный анализ данных о содержании элементов в пробах почв исследованной территории показал наличие трех факторов, влияющих на состав городских почв (табл. 2). Первый фактор, регулирующий состав городских почв, определяется фракционным составом. Содержание никеля и меди приурочено к крупнодисперсной фазе (10 мм).

Заключение

Авторами установлено, что содержание меди, никеля, ванадия и свинца в почвах г. Мончегорска нередко превышает предельно допустимые значения. Наиболее загрязненными являются почвы в районе безымянного озера (точка 41, рис. 1), в аллее на пр. Металлургов (точка 35, рис. 1), район правого берега р. Нюдуай (точка 30, рис. 1) и поселка «31 километр» (точки 38–40, рис. 1). Высокие содержания элементов определены в почве парковой зоны вдоль Ленинградской набережной (точка 17, рис. 1). Относительно чистыми являются почвы юго-восточной окраины города (точка 7, рис. 1) и жилой квартал ограниченный улицами Бредова, Комарова, Гагарина и Ферсмана (точка 3, рис. 1).

Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 0409-2019-0037.

Список литературы / References

1. Kashulina G., de Caritat P., Reimann C. Snow and rain chemistry around the «Severonikel» industrial complex, NW Russia: Current status and retrospective analysis. Atmospheric Environment. 2014. V. 89. P. 672–682. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2014.03.008.

2. Касиков А.Г. Пылевые выбросы медно-никелевого производства и последствия их воздействия на организм человека в условиях Крайнего Севера // Вестник Кольского научного центра РАН. 2017. № 4 (9). С. 58–63.

Kasikov A.G. Particulate Emissions from Copper-Nickel Production and the Consequences of their Impact on Human Body in the Far North // Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. 2017. № 4 (9). P. 58–63 (in Russia).

3. Опекунова М.Г., Чекушин В.А., Томилина О.В., Салминен Р., Рейманн К. Мониторинг изменения состояния окружающей среды в зоне воздействия комбината «Североникель». Часть 1. Миграция и аккумуляция химических элементов в почвогрунтах города Мончегорска // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2006. № 2. С. 96–103.

Opekunova M.G., Elsukova E.Yu., Chekushin V.A., Tomilina O.V., Salminen R., Reimann C. Environmental condition monitoring in the districts of industrial complex «Severonikel». I. Migration and accumulation of chemical elements in soils in Monchegorsk-city // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 7. Geologiya. Geografiya. 2006. № 2. P. 96–103 (in Russia).

4. Серегина Ю.Ю., Семенова И.Н., Кужина Г.Ш. Комплексная оценка загрязнения тяжелыми металлами

почвенного покрова прибрежной зоны р. Белая Белорецкого района Республики Башкортостан // Живые и биокосные системы. 2013. № 3. [Электронный ресурс]. URL: http://www.jbks.ru/archive/issue-3/article-4/ (дата обращения: 10.11.2019).

Seregina Yu.Yu., Semenova I.N., Kuzhina G.Sh. Comprehensive assessment of heavy metal pollution of the soil cover of the coastal zone of the river Belaya Beloretsky district of the Republic of Bashkortostan // Zhivyye i biokosnyye sistemy. 2013. № 3. [Electronic resource]. URL: http://www.jbks.ru/archive/issue-3/article-4/ (date of access: 10.11.2019) (in Russia).

5. Salminen R., Chekushin V., Tenhola M., Bogatyrev I., Glavatskikh S.P., Fedotova E., Gregorauskiene V., Kashulina G., Niskavaara H., Polischuok A., Rissanen K., Slenok L., Tomilina O., Zhdanova L. Geochemical atlas of the Eastern Barents region. Elsevier, 2004. 548 p.

6. Панасин В.И., Рымаренко Д.А., Ермоленко Е.Н. Ванадий в дерново-подзолистых почвах Калининградской области // Агрохимический вестник. 2012. № 6. С. 7–9.

Panasin V.I., Rymarenko D.A., Ermolenko E.N. Vanadium in sod-podzolic soils of the Kaliningrad region // Agrokhimicheskiy vestnik. 2012. № 6. P. 7–9 (in Russia).

7. Парфенова Е.А. Оценка загрязнения почв тяжелыми металлами в результате влияния выбросов автотранспорта // Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского. 2011. № 25. С. 590–592.

Parfenova E.A. Assessment of soil pollution by heavy metals as a result of the impact of vehicle emissions // Izvestiya PGPU im. V.G. Belinskogo. 2011. № 25. P. 590–592 (in Russia).

УДК 550.72:579.22

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ГЕТЕРОТРОФНЫХ БАКТЕРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД И МИКРОБНЫХ МАТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУЛЬТУР

[1]Лебедева Е.Г., [2]Харитонова Н.А.

[1]ФГБУ «Дальневосточный геологический институт» ДВО РАН, Владивосток, e-mail: microbiol@mail.ru;
[2]ФГБОУ ВБ «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва

Изучен химический состав термальных вод месторождения Кульдур. Показано, что термальные воды различных скважин отличались высокой температурой, низкой минерализацией, щелочными условиями и преобладанием в составе вод натрия, кремния, хлора, фтора, лития, мышьяка и стронция. Из воды и бактериальных матов выделены чистые культуры гетеротрофных микроорганизмов и изучены их некоторые физиолого-биохимические свойства и потенциальная внеклеточная ферментативная активность. Показано, что штаммы были представлены палочками различной длины, а также кокками, спирохетами и вибрионами. Среди выделенных штаммов в основном преобладали грамотрицательные, неподвижные, каталазоположительные, аспорогенные палочки. Выделенные гетеротрофные бактерии больше всего обладали ферментативным типом метаболизма. По типу питания большинство штаммов относились к хемоорганотрофам. Исследуемые штаммы были способны утилизировать достаточно широкий спектр сахаров и спиртов: глюкозу, фруктозу, мальтозу, лактозу, галактозу, маннозу, раффинозу, а также маннит и сорбит. Выделенные культуры были способны к росту в широком диапазоне pH (5,0–13,0) и температуры (до 60 °C). Большинство штаммов гетеротрофных микроорганизмов проявляли высокую потенциальную амилолитическую, протеолитическую, липолитическую и более низкую лецитиназную ферментативную активность. Заметное влияние на потенциальную ферментативную активность изолированных штаммов оказывала температура культивирования: активность была выше при температуре инкубации 50 °C. Штамм грамотрицательных бактерий № 1 отличался наибольшей множественной ферментативной активностью и был способен утилизировать многие сахара, спирты и обладал, по сравнению с другими гетеротрофными бактериями, достаточно широким диапазоном роста. Выделенные культуры микроорганизмов являются перспективными для использования в области биотехнологии.

Ключевые слова: гетеротрофные бактерии, термальные воды, Кульдур, ферментативная активность, штаммы, физиолого-биохимические свойства, чистые культуры

PHYSIOLOGICAL-BIOCHEMICAL PROPERTIES AND POTENTIAL ENZYMATIC ACTIVITY OF HETEROTROPHIC BACTERIA, ISOLATED FROM THERMAL WATERS AND MICROBIAL MATS OF THE KULDUR DEPOSIT

[1]Lebedeva E.G., [2]Kharitonova N.A.

[1]Far East geological Institute, FEB RAS, Vladivostok, e-mail: microbiol@mail.ru;
[2]Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Moscow

The chemical composition of the thermal waters of the Kuldur deposit was studied. It was shown that the thermal waters of various wells were characterized by high temperature, low salinity, alkaline conditions and the predominance of sodium, silicon, chlorine, fluorine, lithium, arsenic and strontium in the composition of the water. Pure cultures of heterotrophic microorganisms were isolated from water and bacterial mats and some of their physiological and biochemical properties and potential extracellular enzymatic activity were studied. It was shown that the strains were represented by rods of various lengths, as well as cocci, spirochetes and vibrios. Among the isolated strains, mainly gram-negative, motionless, catalase-positive, and asporogenic bacilli predominated. Isolated heterotrophic bacteria most of all possessed an enzymatic type of metabolism. By type of nutrition, most strains belonged to chemorganotrophs. The studied strains were able to utilize a fairly wide range of sugars and alcohols: glucose, fructose, maltose, lactose, galactose, mannose, raffinose, as well as mannitol and sorbitol. The isolated cultures were capable of growth over a wide range of pH 5.0–13.0 and temperature (up to 60 °C). Most strains of heterotrophic microorganisms showed a high potential amylolytic, proteolytic, lipolytic and lower lecithinase enzymatic activity. The cultivation temperature had a noticeable effect on the potential enzymatic activity of isolated strains: the activity was higher at an incubation temperature of 50 °C. wide range of growth. Highlighted cultures of microorganisms are promising for use in the field of biotechnology.

Keywords: heterotrophic bacteria, thermal waters, Kuldur, enzymatic activity, strains, physiological and biochemical properties, pure cultures

Кульдурское месторождение термальных вод располагается во внутриконтинентальной части юга Дальнего Востока, в районе поселка Кульдур Еврейской автономной области. Кульдурские источники выходят в центральной части Пионерского гранитного массива и приурочены к зоне меридионального разлома на участке пересечения с оперяющим его нарушением северо-восточного направления. Вмещающими породами являются палеозойские граниты и гранодиориты. Воды Кульдур-

ского термального поля щелочные фторидно-хлоридно-кремниево-гидрокарбонатные натриевые, слабоминерализованные. Температура воды достигает 73 °С. Содержание общего углерода органического имеет невысокие значения и колеблется в пределах 0,3–3,7 мг/дм^3 [1].

Известно, что термальные источники являются естественной средой обитания различных микроорганизмов. Водное микробное сообщество и бактериальные маты, образующиеся в местах выхода термальных вод, являются уникальным объектом исследований, поскольку они вовлечены в большое разнообразие трансформаций элементов, многие из этих трансформаций являются ключевыми стадиями геохимических процессов, происходящих в гидротермальных экосистемах. Гетеротрофные бактерии являются важным компонентом термальных вод и микробных матов, поскольку осуществляют деструкцию органических веществ и могут обладать уникальными свойствами и являться потенциальными продуцентами термостабильных ферментов [2, 3]. Изучение термофильных гетеротрофных бактерий, их потенциальной ферментативной активности и физиолого-биохимических особенностей представляет большой практический интерес, так как бактерии и продуцируемые ими ферменты могут найти широкое применение в промышленности, в том числе пищевой, фармацевтической, текстильной и других областях. Ранее было показано, что термальные воды Кульдур населены различной микрофлорой, но в небольшой численности [4]. Однако отсутствуют данные о потенциальной внеклеточной ферментативной активности бактерий, выделенных из Кульдурских терм, и их физиолого-биохимических свойствах.

Цель исследования: исследовать химический состав вод месторождения Кульдур, выделить гетеротрофные бактерии и изучить их некоторые физиолого-биохимические свойства и потенциальную внеклеточную ферментативную активность.

Материалы и методы исследования

Пробы воды отбирали в стеклянные бутыли объемом 1000 мл в трех повторностях, соблюдая условия стерильности, из скважин 1-87, 2-87, 3-87, 3-51, 5-51 термальных вод месторождения Кульдур. Отбор проб осуществляли в августе 2015 г. Также проводили отбор микробных матов, формирующихся на выходах термальных источников. Всего было отобрано 2 типа микробных мата. Отобранные пробы хранили в холодильнике не более 12 ч, затем анализировали в лаборатории. Химический анализ термальных вод осуществляли в аккредитованной лаборатории Дальневосточного геологического института ДВО РАН г. Владивосток. Для выделения и культивирования бактерий использовали традиционные методы практической микробиологии [5]. Для выделения термофильных микроорганизмов использовали питательные среды с различными донорами и акцепторами электронов [6]. Гетеротрофные бактерии учитывали на питательной среде YK следующего состава (г/л): $CaCO_3$ – 1; $MgSO_4$* $7H_2O$ – 1; пептон – 5; дрожжевой экстракт – 5; глюкоза – 0,2; K_2HPO_4 – 0,2 [7]. Выделение микроорганизмов из подземных вод производили методом мембранной фильтрации. Микроорганизмы выращивали в термостате при температурах 25 °С и 50ºС в течение 1–7 суток. Тип клеточной стенки бактерий определяли по методу Грама. Морфологию, размеры, подвижность, спорообразование выделенных чистых культур исследовали с использованием светового микроскопа AxioStar plus (Carl Zeiss, Германия) [8]. Способность штаммов к росту при различных температурах и значениях pH питательной среды исследовали при инкубировании в среде YK. Диапазон pH устанавливали с разными концентрациями бикарбоната и карбоната натрия (от 5,0 до 13,0). Для изучения способности бактерий утилизировать моно- и дисахариды, спирты использовали готовые среды Гисса «Биокомпас-С» (Углич, Россия). Тестирование выделенных изолятов на наличие внеклеточных ферментов каталазы, протеазы, амилазы, липазы, лецитиназы проводили согласно [8]. Культивирование микроорганизмов проводили в термостате при температурах 25 °С и 50 °С в течение 2–3 суток. О наличии энзиматической активности судили по появлению зон гидролиза субстрата вокруг посева бактерий на соответствующих средах.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования химического состава термальных вод показали, что среди катионов в изученных скважинах значительно преобладали натрий (89,0–94,3 мг/л) и кремний (43,3–52,3 мг/л), при этом почти отсутствовал магний (0,0–0,03 мг/л). Среди анионов доминировали хлор (31,5–34,9 мг/л), фтор (17,7–18,9 мг/л) и суль-

фат-ионы (15,9–18,5 мг/л). В микроэлементном составе изученных вод наиболее преобладали литий (351,8–369,7 мкг/л), мышьяк (79,2–113,1 мкг/л) и стронций (65,3–83,3 мкг/л) (табл. 1). Отличительной чертой термальных вод этих скважин является высокая температура (до 72 °С), низкая минерализация 0,30–0,36 г/л и щелочная реакция (pH = 9,4–9,7). Как растворенные, так и спонтанные газы исследуемых терм представлены в основном азотом (до 98 об.%), примеси других газов (CO_2, H_2S, O_2), как правило, незначительны.

Из термальных вод и бактериальных матов месторождения Кульдур на различных селективных средах были выделены чистые культуры мезофильных и термофильных гетеротрофных бактерий. Всего было изолировано 35 чистых культур (12 штаммов из подземных вод, 23 штамма из микробных матов). Среди изолированных из подземных вод гетеротрофных микроорганизмов преобладали плоские, матовые и глянцевые, светло-бежевые колонии с неровным краем, а также пигментированные светло-желтые и оранжевые выпуклые блестящие колонии (рисунок, а–в). Морфологическое разнообразие выделенных из бактериальных матов колоний было выше, здесь отмечены в основном колонии лишенные пигмента: различных оттенков бежевые, плоские и выпуклые, а также прозрачные, выпуклые и молочного цвета колонии (рисунок, г–е). По количеству выделенных бактерий значительно преобладали в подземных водах всех изученных скважин и микробных матах крупные грамположительные неподвижные спорообразующие каталазоположительные палочки размером 2,21–5,45 мкм в длину. Подобные крупные грамположительные палочки были выявлены нами ранее в подземных рассолах и техногенных водах хвостохранилищ Приморского края [9, 10]. Остальные изоляты были представлены палочками различной длины, а также кокками, спирохетами и вибрионами.

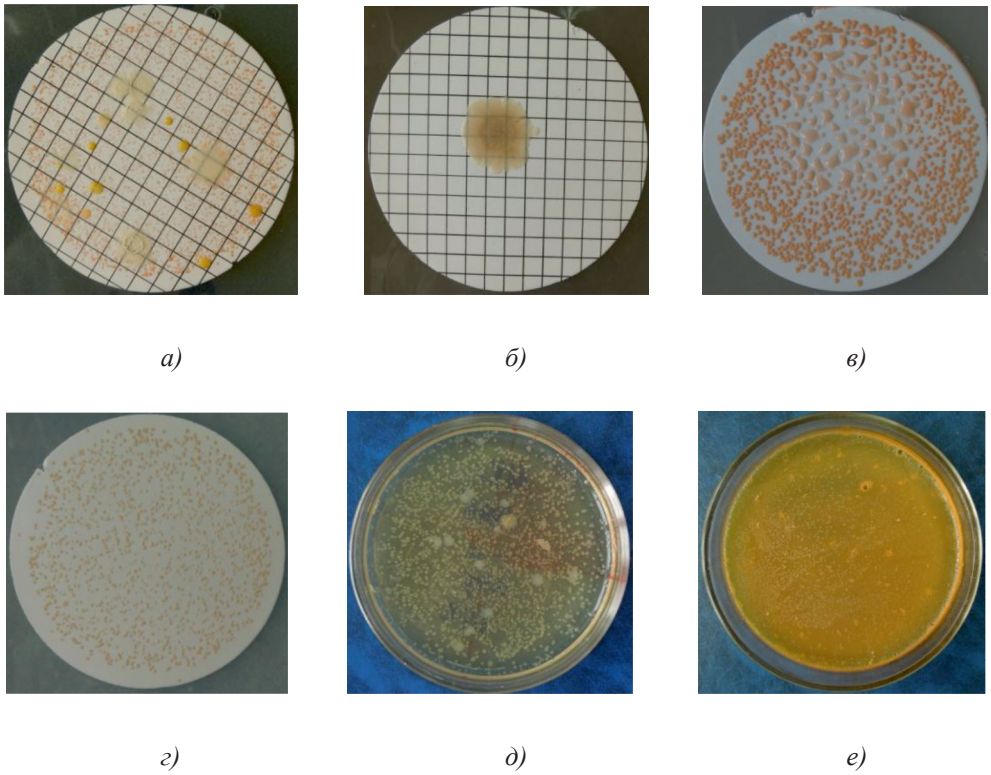
Исследование некоторых морфо-биохимических особенностей чистых культур гетеротрофных бактерий показало, что штаммы в основном были грамотрицательными (60%), преимущественно неподвижными (70%), аспорогенными (70%), каталазоположительными (80%) и оксидазоотрицательными (90%) палочками с различным отношением к кислороду (табл. 2). Выделенные гетеротрофные бактерии больше всего были способны ферментировать глюкозу (65%), т.е. обладали ферментативным типом метаболизма. По типу питания большинство штаммов относились к хемоорганотрофам. Исследование физиологических характеристик штаммов показало, что в целом культуры обладали способностью к росту в широком диапазоне pH 5,0–13,0 и температуры (до 60 °С) (табл. 3). Выявленные особенности роста данных микроорганизмов могут свидетельствовать об их приспособленности к высоким температурам и щелочным условиям среды. Культуры бактерий использовали широкий спектр субстратов. Все штаммы обладали способностью к росту на среде с комплексными субстратами, внесенными в качестве единственных источников углерода и энергии – дрожжевом экстракте и пептоне.

Исследуемые штаммы были способны утилизировать достаточно широкий спектр сахаров и спиртов: глюкозу, фруктозу, мальтозу, лактозу, галактозу, маннозу, раффинозу, а также маннит и сорбит. Слабый рост для большинства культур отмечен на рамнозе, сахарозе и ксилозе. Чрезвычайно важную роль на начальных этапах расщепления органических субстратов играют микроорганизмы, выделяющие в среду гидролитические ферменты. В связи с этим исследовали потенциальную внеклеточную ферментативную активность выделенных культур бактерий (протеолитическую, лецитиназную, липолитическую и амилолитическую). Тестирование проводили при двух температурных режимах (25 °С и 50 °С).

Таблица 1

Химический состав термальных вод месторождения Кульдур

Скважины:	Катионы/Анионы, мг/л					Микроэлементы, мкг/л			
	Na	Si	F	Cl	SO_4	Li	As	Sr	Al
1-87	89,1	51,9	17,9	31,5	15,9	369,7	110,2	68,8	57,7
2-87	87,7	51,9	18,0	32,0	16,1	351,8	113,1	68,6	40,35
3-87	94,3	43,3	18,9	34,9	18,5	353,8	79,2	83,3	5,93
3-51	89,5	52,3	17,9	31,7	17,8	355,0	109,8	68,5	53,9
5-51	89,0	51,2	17,7	31,8	18,5	368,6	108,6	65,3	24,22



Внешний вид колоний гетеротрофных бактерий, выделенных из термальных вод (а–в) и микробных матов (г–е) месторождения Кульдур

Результаты исследования показали, что амилолитической активностью обладали наибольшее количество штаммов бактерий (80–90 %), при этом оптимальной для большинства культур была температура инкубации 50 °C, где они проявляли наибольшую активность. Ширина зоны просветления амилолитической активности варьировала от 2 до 19 мм, достигая максимальных значений при более высокой температуре. Наибольшую амилазную активность проявляли как грамположительные (№ 11), так и грамотрицательные штаммы бактерий (№ 21, № 34, № 30). Протеолитической активностью обладали 40–60 % от изученных штаммов, при этом она была выше при температуре инкубации 50 °C. Наиболее активно протеазы вырабатывали микробные культуры № 11, № 15 (грамположительные) и № 24 (грамотрицательные), при этом ширина зоны просветления составляла 5–16 мм. Липазную активность проявляли 20–40 % от общего количества протестированных штаммов, при этом наибольшая активность отмечена при температуре 50 °C. Ширина зоны просветления достигала 0–10 мм, наибольшие значения отмечены у грамотрицательных (№ 8, № 30) и грамположительных (№ 4) культур. Наименьшую активность бактерии проявили по расщеплению лецитина (лецитиназа), суммарно только 0–10 % из 35 протестированных штаммов. При этом наибольшая активность отмечена при температуре 50 °C. Штаммы гетеротрофных бактерий, выделенные из подземных вод в целом, обладали меньшей гидролитической активностью. Штаммы грамположительных бактерий № 11 и грамотрицательных микроорганизмов № 30 отличались проявлением множественной протеазной, амилазной и липазной ферментативными активностями. Штамм грамотрицательных бактерий № 1, выделенный из микробного мата, характеризовался проявлением всех видов ферментативной активности, особенно при температуре 50 °C, и был способен утилизировать многие сахара, спирты и обладал, по сравнению с другими гетеротрофными бактериями, достаточно широким диапазоном роста (pH до 13, температура до 60 °C) (табл. 3). Выделенные культуры микроорганизмов являются перспективными для использования в области биотехнологии.

Таблица 2

Морфо-биохимические характеристики некоторых выделенных из термальных вод и микробных матов Кульдур культивируемых гетеротрофных бактерий

Место выделения	Штамм, №	Внешний вид колоний	Морфология клеток	Окраска по Граму	Подвижность	Наличие спор	Каталаза/оксидаза
Подземные воды	4	Светло-бежевые плоские, матовые с неровным краем	Крупные палочки	+	–	+	+/–
	15	Светло-желтые мелкие колонии	Диплококки	+	–	–	+/–
	21	Оранжевые блестящие с ровным краем	Мелкие спирохеты	–	+	–	+/–
	24	Светло-бежевые блестящие с ровным краем	Длинные палочки	–	+	–	–/–
Микробный мат	1	Молочные, блестящие	Мелкие кокки	–	–	–	+/–
	8	Молочно-бежевые, блестящие	Мелкие палочки	–	+	–	–/–
	11	Светло-бежевые плоские, матовые с неровным краем	Крупные палочки	+	–	+	+/–
	27	Пленочный рост	Прямые длинные палочки	+	+	–	+/+
	30	Светло-бежевые, выпуклые, гладкие	Толстые длинные палочки	–	–	+	+/–
	34	Прозрачные, блестящие	Вибрионы	–	–	–	+/–

Таблица 3

Рост выделенных из воды и микробных матов Кульдур штаммов гетеротрофных бактерий при различных температурах и pH

Штамм, №	Рост бактерий													
	Температура, °C							pH						
	25	35	42	50	55	60	65	5,0	6,0	7,0	9,0	10,0	12,0	13,0
4	++	++	++	++	+	+	–	++	++	++	++	++	+	–
15	++	++	++	+	+	–	–	++	++	++	+	–	–	–
21	++	++	+	+	–	–	–	++	++	++	+	+	–	–
24	++	++	++	++	+	+	–	++	++	++	++	++	+	–
1	+	+	++	++	+	–	–	++	++	++	++	++	++	+
8	++	++	++	+	–	–	–	++	++	++	++	++	+	–
11	++	++	++	++	+	–	–	++	++	++	++	++	+	–
27	+	+	+	++	++	+	+	++	++	++	+	+	+	–
30	+	+	++	++	+	–	–	++	++	++	++	++	++	+
34	++	++	++	++	+	–	–	++	++	++	++	++	+	+

Примечание: – отсутствие роста; + – заметный рост; ++ – обильный рост.

Заключение

Изучен химический состав термальных вод из различных скважин месторождения Кульдур. Показано, что отличительной чертой этих вод является высокая температура, низкая минерализация и щелочные условия среды. Воды наиболее обогащены натрием, кремнием, хлором, фтором, литием, мышьяком и стронцием. Из термальных вод и микробных матов выделены 35 штаммов гетеротрофных бактерий, для которых изучены физиолого-биохимические свойства и потенциальная ферментативная активность. Отмечено, что среди выделенных штаммов в основном преобладали грамо-

трицательные, неподвижные, аспорогенные, каталазоположительные палочки различной длины. Культуры были способны к росту в широком диапазоне pH и температуры, утилизировали достаточно широкий спектр сахаров и спиртов бактерий и проявляли высокую амилолитическую, протеолитическую, липолитическую и более низкую лецитиназную внеклеточные ферментативные активности.

Полученные данные позволяют утверждать, что вода и бактериальные маты термальных источников Кульдур населены уникальным сообществом гетеротрофных термофильных микроорганизмов. Несомненно, что это бактериальное сообщество играет особую роль в функционировании гидротермальной экосистемы, в том числе и в биогеохимических преобразованиях, именно за счет своей высокой потенциальной метаболической активности.

Авторы выражают благодарность ген. директору санатория «Кульдур» С.Н. Гончарову и начальнику Кульдурской гидрогеологической станции санатория А.Л. Кравченко за предоставление возможности отбора проб и помощь при проведении исследований.

Список литературы / References

1. Компаниченко В.Н., Потурай В.А. Вариации состава органического вещества в водах Кульдурского геотермального месторождения (Дальний Восток России) // Тихоокеанская геология. 2015. Т. 34. № 4. С. 96–107.

Kompanichenko V.N., Poturai V.A. Variations in the composition of organic matter in the waters of the Kuldursky geothermal field (Russian Far East) // Pacific Geology. 2015. V. 34. № 4. P. 96–107 (in Russian).

2. Раднагуруева А.А., Лаврентьева Е.В., Будагаева В.Г., Бархутова Д.Д., Дунаевский Я.Е., Намсараев Б.Б. Органотрофные бактерии горячих источников байкальской рифтовой зоны // Микробиология. 2016. Т. 85. № 3. С. 347–360. DOI: 10.7868/S0026365616030125.

Radnagurueva A.A., Lavrentieva E.V., Budagaeva V.G., Barkhutova D.D., Namsaraev B.B., Dunaevsky Y.E. Organotrophic bacteria of Baikal rift zone hot springs. Microbiology. 2016. vol. 85. no. 3. P. 367–378. DOI: 10.1134/S0026261716030103.

3. Галачьянц А.Д., Белькова Н.Л., Суханова Е.В., Романовская В.А., Гладка Г.В., Бедошвили Е.Д., Парфенова В.В. Разнообразие и физиолого-биохимические свойства гетеротрофных бактерий, выделенных из нейстона озера Байкал // Микробиология. 2016. Т. 85. № 5. С. 568–579. DOI: 10.7868/S0026365616050062.

Galachyants A.D., Belkova N.L., Sukhanova E.V., Bedoshvili E.D., Parfenova V.V., Romanovskaya V.A., Gladka G.V. Diversity and physiological and biochemical properties of heterotrophic bacteria isolated from lake Baikal neuston. Microbiology. 2016. vol. 85. no. 5. P. 604–613. DOI: 10.1134/S0026261716050064.

4. Калитина Е.Г., Харитонова Н.А., Вах Е.А. Распространение бактерий различных эколого-трофических групп в подземных термальных водах Кульдурского месторождения (Дальний Восток России) // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 5. [Электронный ресурс]. URL: http://www.science-education.ru/article/view?id=26940 (дата обращения: 08.10.2019).

Kalitina E.G., Kharitonova N.A., Vakh E.A. The distribution of bacteria of various ecological and trophic groups in the underground thermal waters of the Kuldurskoye deposit (Russian Far East) // Modern problems of science and education. 2017. № 5. [Electronic resource]. URL: http://www.science-education.ru/article/view?id=26940 (date of access: 08.10.2019) (in Russian).

5. Лысак В.В., Желдакова Р.А., Фомина О.В. Микробиология: практикум. Минск: БГУ, 2015. 115 с.

Lysak V.V., Zheldakova R.A., Fomina O.V. Microbiology: practical. Minsk: BGU, 2015. 115 p. (in Russian).

6. Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 228 с.

Kuznetsov S.I., Dubinina G.A. Methods for studying aquatic microorganisms. M.: Nauka, 1989. 228 p. (in Russian).

7. Youchimizu M., Kimura T. Study of intestinal microflora of Salmonids. Fish. Pathol. 1976. vol. 10. no. 2. P. 243–245.

8. Руководство к практическим занятиям по микробиологии / под ред. Егорова Н.С. М.: Изд. МГУ, 1995. 224 с.

Guide to practical classes in microbiology / pod red. Egorova N.S. M.: Izd. MGU, 1995. 224 p. (in Russian).

9. Lebedeva E.G., Chelnokov G.A., Bragin I.V., Kharitonova N.A. Microorganisms of various ecological-trophic groups in the saline ground waters of Primorsky Region (distribution, number, participation in accumulation of microelements). E3S Web of Conferences. 2019. vol. 98. P. 02006. DOI: 10.1051/e3sconf/20199802006.

10. Kalitina E.G., Kharitonova N.A., Kuzmina T.V. Chemical and Microbiological Composition of Technogenic Waters in the Tailing Dumps of Krasnorechensk Oredressing Plant (Primorsky Krai, Russia). IOP Conf. series: Earth and environmental science. 2019. vol. 272. P. 032057. DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032057.

УДК 911.53(571.56)

РАЙОНИРОВАНИЕ САКРАЛЬНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЯКУТИИ

Лукина О.Р., Пахомова Л.С.

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Якутск,
e-mail: loukina@inbox.ru, Lsp0803@mail.ru

В статье раскрываются особенности районирования сакральных ландшафтов на территории Якутии. География сакральных объектов и мест на территориях в пространственной организации не случайна. Распространение сакральных объектов зависит от природных условий и их духовной роли в жизни населяющих народов, которые образуют своеобразные сакральные ландшафты. В современном мире в сфере туризма усиливается интерес к сакральным объектам. Цель данной статьи заключается в районировании пространственного размещения сакральных ландшафтов на территории Якутии и в выявлении способов их интеграции в туристскую деятельность. Их корректная интеграция в туристскую деятельность на территории Якутии, выделение районов и типичных ареалов распространения сакральных ландшафтов и их классификация поможет выявить наиболее привлекательные места для развития туристской деятельности в республике. Географический, природоцентрический и культуроцентрический подходы способствовали определению особенностей сакральных объектов и ландшафтов по их типам. Районирование стало возможным при систематизации и описании сакральных объектов, группировке их в сакральные районы и ареалы по территории Якутии. Материал для статьи опирается на личные (авторские) полевые материалы в экспедиционный период в июле 2018 г. и дополненные в 2019 г. В результате районирования определилась география сакральных ландшафтов Якутии – выделено 5 сакральных районов, в них выявлено 11 ареалов. На этой основе составлена таблица, карта районирования ландшафтов Якутии и дополнительно мультимедийная карта. Предложены рекомендации для включения сакральных объектов в туристическую деятельность в Якутии.

Ключевые слова: сакральный ландшафт, география сакральных ландшафтов, сакральность, памятник природы, достопримечательное место, почитаемое место, сакральное место, Якутия, туризм

GEOGRAPHICAL DEMARCATION OF SACRAL LANDSCAPES OF YAKUTIA

Lukina O.R., Pakhomova L.S.

Northeast Federal University named after M.K. Ammosova, Yakutsk,
e-mail: loukina@inbox.ru, Lsp0803@mail.ru

The article reveals the features of zoning of sacred landscapes on the territory of Yakutia. The geography of sacred objects and places in the territories in the spatial organization is not accidental. The distribution of sacred objects depends on natural conditions and their spiritual role in the life of the peoples who inhabit, which form a kind of sacred landscapes. In the modern world in the field of tourism there is a growing interest and need for sacred objects. The purpose of this article is to zoning the spatial distribution of sacred landscapes on the territory of Yakutia and to identify ways of their integration into tourism activities. Their correct integration into the tourist activity on the territory of Yakutia, the allocation of areas and typical areas of distribution of sacred landscapes and their classification will help to identify the most attractive places for the development of tourist activity in the Republic. Geographical, nature-centric and culture-centric approaches helped to determine the characteristics of sacred objects and landscapes by their types. Zoning became possible in the systematization and description of sacred objects, grouping them into sacred areas and areas on the territory of Yakutia. The material for the article is based on personal (author's) field materials in the expedition period in July 2018 and supplemented in 2019. As a result of zoning, the geography of the sacred landscapes of Yakutia was determined – 5 sacred areas were identified, 11 areas were identified in them. On this basis, a table, a map of the zoning of the landscapes of Yakutia and an additional multimedia map were compiled. Recommendations for inclusion of sacred objects in tourist activity in Yakutia are offered.

Keywords: sacred landscape, geography of sacred landscapes, sacredness, natural monument, interesting place, revered place, sacred place, Yakutia, tourism

Сакральный ландшафт – это ландшафт, объединяющий природную и культурную составляющие, которые взаимодействуют и влияют друг на друга в процессе исторического развития. Сакральные места – это места, прежде всего, призванные выполнять духовную функцию, связанную с религиозными запросами верующих [1]. Подобные объекты схожи с памятными местами. Сакральные объекты существуют до тех пор, когда есть народ, сохранивший свои традиции и память о них [2]. Сакральное значение зависит от восприятия, от того, какое впечатление производил тот или иной объект на человека. Конечно, объекты природы не сами по себе являются сакральными, а сакральным является то, что они выражают. Бывает так, что камень – это просто камень, не более чем компонент определенного ландшафта. Но именно человек наполняет сакральным значением объекты, это способ осмысления и познания мира вокруг себя.

Цель исследования: районирование пространственного размещения сакральных ландшафтов на территории Якутии и их включения в туристскую сферу.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Систематизировать, сгруппировать исследованные сакральные объекты по видам происхождения и сакрального значения.

2. Районировать сакральные ландшафты по регионам Якутии.

3. Составить карту сакральных ландшафтов Якутии.

Методы: анализ и синтез, социологический, картографический методы и методы районирования.

Методология исследования сакральных ландшафтов Якутии обоснована на научных работах: А.Н. Окладникова, Н.Н. Кочмар, В.В. Попова. Культурологическое составляющее сакральных объектов и ландшафтов раскрыто в научных работах А.А. Борисова, Л.П. Дамбаевой, В.Н. Калуцкова А.Н. Прокопьева, других.

Методика районирования сакральных ландшафтов Якутии. Методика районирования, как правило, строится на выявлении формальных признаков и усреднённых показателей, характеризующих полученные районы. Необходимо отметить, что этот анализ обладает элементами субъективизма, так как требует необходимости применения экспертной оценки, которая во многом зависит от личности исследователя [3].

Для выделения сакрального ландшафта используются следующие критерии:

– их количественный показатель;

– типы и виды объектов на определенной территории;

– критерий явности и хорошей сохранности (для туризма);

Районирование можно проводить по многим показателям: разграничение по природным особенностям, районирование по типам культурных ландшафтов, по туристскому использованию и антропогенной нагрузке. При районировании сакральных ландшафтов нами использованы географический, природоцентричный и культуроцентричный подходы, которые являются основными критериями их выделения в районы и раскрывают взгляд авторов на предмет исследования.

Критерии районирования сакральных ландшафтов:

а) культуроцентричный подход – традиционные верования народов, населяющих данный ландшафт и их ритуалы, являются посредниками между природой и человеком, при этом сакральный объект зависит от особенностей обычаев и быта населения.

б) географический подход или территориальный подход является основой районирования ландшафтов по регионам Якутии, учитывая географическое разнообразие ландшафтов Якутии.

Также следует отметить роль метода культурно-ландшафтного районирования, широко применяемого в работах А.А. Андреева, В.Н. Калуцкова, И.П. Чалой, Ю.А. Веденина [4] и др. Систематизация культурных ландшафтов позволяет применить для их районирования как наиболее эффективный и информативный метод. Данный метод позволяет рассмотреть природный объект и его сакральный смысл как единое целое.

В принципиальном плане все культурно-географические (культурные) районы могут быть отнесены к двум основным типам – реальные и ментальные [5].

В нашем исследовании сакральные ландшафты Якутии рассмотрены как реальные типы районов, как этнические территории. Под этнической территорией понимается такой ареал, в пределах которого произошло формирование данного этноса, т.е. складывание его культуры, языка и, главное, самосознания. Во многих случаях этническая территория совпадает с центральной частью ареала расселения этноса. Этническая территория всегда сакрализована; сакральный смысл этнической территории рождается исторически, в процессе её освоения («делания своей») и защиты [5].

По критерию однородности культурного пространства, реальные культурные районы Якутии могут быть как однородными, так и неоднородными. С одной стороны, однородные, по причине образования на этнической территории, под одной культурной основой. Впоследствии исторического освоения территории Якутии начинают преобладать неоднородные реальные культурно-географические районы, а именно узловые. Узловые районы функционируют на разности потенциалов «центр – периферия». Центр выступает источником культурных инноваций, а периферия – их транслятором и восприемником. К узловым относятся районы типа «городской культурный центр с сельской округой» [5].

Результаты исследования и их обсуждение

Республика Саха (Якутия) обладает уникальными природными и культурными ландшафтами, на которых сформировались сакральные объекты и ландшафты в течение долгого времени, связанные с верованием народов. На данный момент недоста-

точно исследованы сакральные ландшафты Якутии с точки зрения сакрализации ее территории, имеется существенная проблема сбора, интерпретации и сохранения информации о сакральных объектах Якутии. Проведенное полевое исследование и анализ показали, что на территории Якутии достаточно объектов, имеющих характеристики сакрального объекта на различных ландшафтах.

Районирование было проведено на основе концентрации сакральных объектов природного и антропогенного происхождения на определенной территории района Якутии. При этом определились следующие концентрации: а) высокая концентрация сакральных объектов, мест и ландшафтов наблюдается в Центрально-Якутской равнине (Лено-Алданское междуречье); б) ниже высокой – Вилюйский бассейн (северная часть Центрально-Якутской равнины); б) средняя концентрация сакральных ландшафтов выявлена на Северо-Востоке Якутии: это Верхоянские горы, система гор хребта Черского, в основном связанные с проживанием и расселением северных народов – якутов, эвенков, эвенов, юкагиров и чукчей; б) ниже средней – Приленское плато и Алданское нагорье; в) рассеянная – тундровые территории.

Выявление концентрации сакральных территорий позволило выделить распространение сакральных объектов и ландшафтов по территории Якутии:

Центральный сакральный район Якутии характеризуется многочисленностью сакральных объектов – местностей исторического значения, а также древними обрядовыми местами, что связано с заселением и освоением территории Средней Лены и Лено-Алданского междуречья – колыбели якутского народа. В Олекминском и Ленском районах большой след оставлен ямщицким наследием. Северо-Восточный район располагает известными горными сакральными ландшафтами – именно здесь расположены знаменитые Кисиляхи – Верхоянья и Оймяконья и Улахан Сис, которые всегда имели сакральное значение у якутов, эвенов и юкагиров. Достаточно большое разнообразие культурного и природного сакрального ландшафта, что явилось следствием особенности исторического развития данного региона республики. Для Южного района характерен сохранившийся горный сакральный ландшафт на Олекмо-Чарском нагорье, коренных народов – южных эвенков с местами археологического значения (горы, перевалы, обрядовые места).

В результате районирования на обширной территории республики нами выделены следующие ландшафтные районы и ареалы сакрального пространства Якутии:

1) Центральный район – Среднеленский приречной и Заречный ареал;

2) Вилюйский (западный) район – Вилюйский ареал;

3) Южный район – Нерюнгринский, Алданский и горный Олекминский ареал;

4) Северо-Восточный район – Верхоянский, Индигирский, Колымский ареалы;

5) Северный район – Северный горный ареал и Северный тундровый ареал.

Систематизация позволила разработать размещение районов и ареалов сакральных ландшафтов по территории Якутии, что отразилось в авторской разработке (таблица).

Пространственное размещение сакральных ландшафтов отражает составленная карта «Районы и ареалы сакральных ландшафтов Якутии» (рис. 1), а также интерактивная карта. Районирование способствовало более подробному изучению и описанию известных сакральных и памятных мест и объектов на ландшафтах сакральных районов Якутии. Объекты отмечены на интерактивной карте на сайте ZeeMaps, на карте «Районы и ареалы сакральных ландшафтов Якутии» [6].

Надо отметить, что это далеко не полный перечень сакральных объектов, распространенных на просторах разнообразных ландшафтов Якутии. В перспективе сакральные ландшафты имеют широкие возможности для детального исследования по природным регионам и по улусам (районам) Якутии.

Сакральные ландшафты и туризм. Большинство сакральных объектов, которые занимают определенное место на ландшафтах Якутии, имеют туристскую привлекательность. Особенно известны сакральные ландшафты и объекты (например, Кисиляхи Верхоянские), которые обладают относительной транспортной доступностью, сохранностью и наличием дополнительных культурных объектов, что повышает аттрактивность данного района.

Одним из критериев по выделению пригодности сакрального ландшафта к туристским целям целесообразно считать критерий явности и хорошей сохранности. Наличие хорошо сохраненных артефактов, наскальных рисунков, мест реальных ритуальных практик повышает ценность сакрального ландшафта в туристских целях.

Районы и ареалы сакральных ландшафтов Якутии (авторская разработка)

№ п/п	Сакральный район	Сакральный ареал	Сакральные ландшафты
1	Центральный	Среднеленский приречной ареал (Ленский, Олекминский, Великие долины (Эркээни, Туймаада, Энсиэли)	Территория преобразованного сакрального ландшафта, места археологического значения
		Заречный ареал (Мегино-Кангаласский, Усть-Алданский, Чурапчинский, Амгинский и Таттинский)	Территория преобразованного сакрального ландшафта, места археологического значения
2	Вилюйский	Вилюйский ареал (Вилюйский, Верхневилюйский Кобяйский, Нюрбинский, Сунтарский и Мирнинский)	Места археологического значения
3	Южный	Нерюнгринский, Алданский и горный Олекминский ареал	Горный, перевалы и места археологического значения эвенков
4	Северо-Восточный	Верхоянский, Индигирский, Колымский ареалы	Горный, уникальные природные места, памятные места эвенов и эвенков
5	Северный	Северный горный ареал и Северный тундровый ареал (Оленёкский, Анабарский, Булунский, Усть-Янский, Аллаиховский, Абыйский, Нижне-Колымский	Сакральные ландшафты народов Севера – эвенков, долган, юкагиров и чукчей

Религиозно-мировоззренческие установки народа, населяющего различные территории, играют ключевую роль в определении сакральных объектов. Именно верование и традиции становятся источником преобразования окружающей действительности. Существуют геопространственные «фокусы» («ядра») религиозной жизни и деятельности, которые притягивают к себе миграционные потоки верующих паломников и рекреантов. Для подтверждения сакрализации пространства, создания его материальной составляющей, необходимо развитие территориальной сакральной инфраструктуры, которая обеспечивает духовную сферу услугами (производство предметов культового назначения, одежды, издание религиозной литературы, религиозных предметов искусства, подготовка служителей культа, создание, развитие и распространение специальных средств массовой информации и пр.) [7].

Для оценивания культурных и природных ландшафтов, частью которых считается и сакральный ландшафт, применяются различные общепризнанные и авторские разработки и расчеты.

Если рассматривать туристические объекты с уровневой позиции, которые на разных уровнях привлекают туристический поток и составляют географический образ территории, применим авторский метод позиционно-ранговой оценки туристической привлекательности территорий, разработанный Т.А. Танкиевой, И.Ю. Пономаревой, М.В. Пономаревой [8].

Заключение

Включение посещения сакральных объектов в турмаршрутах имеет важное познавательное и воспитательное значение: нравственно-культурное и экологическое значение для сохранения природного и культурно-исторического наследия Якутии, сохранения памяти о жизни предков, традиций, обычаев и культуры своего народа и бережного отношения к ним в природной среде. В этом аспекте, сакральные объекты (обрядовые, почитаемые, памятные) на сакральных ландшафтах Якутии становятся местами, соединяющими прошлое, настоящее и будущее, нить поколений, которая объединяется в единое целое.

Для успешной интеграции сакральных объектов в туристическую деятельность разработаны практические рекомендации по разработке турмаршрутов:

1. Учитывать региональную специфику сакральных объектов: их местонахождение на различных ландшафтах с уникальными природными условиями: экстремальные климатические условия; транспортную доступность по территории республики; этнонациональные особенности народов, населяющих район, нахождения сакральных объектов и отношение к ним.

Знак	Легенда
	перевалы, опасные участки дорог
	минеральные источники
	сакральные места для загадывания желаний, с функцией достопримечательного места природного и культурного происхождения
	горы
	почитаемые деревья (деревья духов местности, деревья на границе)
	музеи, имеющие в коллекции сакральные объекты, связанные с культом природы
	места исконного проживания села, рода
	озера
	наледи
	памятные места, надгробные плиты
	обрядовые места, писаницы, пещеры
	заброшенный культурный ландшафт, запретные места по традиционному верованию
	скульптуры

Районы и ареалы сакральных ландшафтов Якутии

2. Включение сакральных объектов в туристические кластеры в качестве дополнительных объектов.

3. Сочетание сакральных объектов с экологическим туризмом и включение их в экологические тропы позволит расширить туристскую привлекательность.

Список литературы / References

1. Батомункуева С.Р. Феномен сакрализации в контексте культа поклонения священным горам // Вестник БГУ. 2011. № 6. С. 254–257.

Batomunkuev S.R. The phenomenon of sacralization concerned mountain worship cult // Vestnik BGU. 2011. № 6. P. 254–257 (in Russian).

2. Пахомова Л.С., Лукина О.Р. Сакральные ландшафты Олекминского и Ленского районов // Вестник СВФУ. Серия: Науки о земле. 2018. № 4 (12). С. 72–80.

Pahomova L.S., Lukina O.R. Sacred landscapes of Lensky and Olyokminsnky districts // Vestnik SVFU. Seriya: Nauki o zemle. 2018. № 4 (12). P. 72–80 (in Russian).

3. Андреев А.А. Культурно-ландшафтное районирование территории Псковской области // Псковский регионологический журнал. 2011. № 11. С. 113–131.

Andreev A.A. Cultural-landscape zoning of the territory of the Pskov region // Pskovskij regionologicheskij zhurnal. 2011. № 11. P. 113–131 (in Russian).

4. Чалая И.П., Веденин Ю.А. Культурно-ландшафтное районирование Тверской области. М., 1997. 286 с.

Chalaja I.P., Vedenin Ju.A. Cultural and landscape zoning of the Tver region. M., 1997. 286 p. (in Russian).

5. Калуцков В.Н. О типах районов в культурной географии // Культурная и гуманитарная география. 2013. Т. 2. № 1. С. 3–9 (in Russian).

Kaluckov V.N. Types of regions in cultural geography // Kul'turnaya i gumanitarnaya geografiya.2013. T. 2. № 1. P. 3–9 (in Russian).

6. Районы и ареалы сакральных ландшафтов Якутии. [Электронный ресурс]. URL: https://www.zeemaps.com/view?group=3405432&x=122.251632&y=61.000719&z=12 (дата обращения: 12.09.2019).

Regions and areas of sacral landscapes Yakutia Maps. [Electronic resource]. URL: https://www.zeemaps.com/view?group=3405432&x=122.251632&y=61.000719&z=12 (date of access: 12.09.2019) (in Russian).

7. Сморжевская О.А. Остров Хортица как сакральный объект (на примере деятельности руського православного кола) // Colloquium heptaplomeres. 2015. № 2. С. 89-93.

Smorzhevskaya O.A. Khortytsya island as sacred object (on the example of ruthenian orthodox circle) // Colloquium heptaplomeres. 2015. № 2. P. 89–93 (in Russian).

8. Танкиева Т.А., Пономарева И.Ю., Пономарева М.В. Методика позиционно-ранговой оценки туристической привлекательности территорий // Известия ТулГУ. Экономические и юридические науки. 2014. № 5–1. С. 174–180.

Tankieva T.A., Ponomareva I.Yu., Ponomareva M.V. The methodology of the positional-rank estimation of touristic attraction of territories // Izvestiya TulGU. E`konomicheskie i yuridicheskie nauki. 2014. № 5–1. P. 174–180 (in Russian).

УДК 504.064.2:502.2.08:551.4.044:528.854.2:519.876.5

ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ШИРОТЫ В ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧКАХ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ РУСЛА МАЛОЙ РЕКИ ИРОВКА

Мазуркин П.М., Георгиева Я.О.

Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола,
e-mail: kaf_po@mail.ru, yanageorgieva2017@yandex.ru

Местная широта образуется на Север – Юг с началом по характерным 290 точкам в истоке реки Ировка, сама река находится в прямоугольнике 23.89 минут длиной (по широте) и 18.89 минут шириной (по долготе). Начальной точке в истоке реки дается нулевой ранг. Цель статьи – анализ асимметричных вейвлетов изменения одной координаты – приведенной к реке Ировка местной широты от истока до устья. После идентификации универсального волнового уравнения были получены 25 членов в виде асимметричных вейвлетов с переменными амплитудой и периодом колебания. Все 25 вейвлетов являются конечномерными, то есть каждый из них имеет начало и конец колебательной адаптации к изменениям структуры рельефа русла. При этом значительная часть колебаний происходит внутри малой реки Ировка общей длиной 69 км. Первые три члена вместе дали коэффициент корреляции 0,9099. Это уровень адекватности более 0,9 и общее трехчленное уравнение относится к сильнейшей факторной связи. Остальные 22 члена повышают дальше уровень адекватности почти до коэффициента корреляции 1. Анализ показал, что местная широта малой реки Ировка по измерениям на космических снимках дает высокую определенность квантования рельефа. Остатки от 25-го члена дали высокую погрешность моделирования в истоке реки и при первом ранге точки. Летом происходит пересыхание русла в верховье реки. Погрешности по характерным точкам русла распределились так: 0–0,1 % 95 шт. (32,76 %); 0–1,0 % 262 шт. (90,34 %); от 0 до 5 % 283 характерные точки русла, что составляет 97,59 % от общего количества 290 точек.

Ключевые слова: малая река, космический снимок, русло, точки, широта, распределение, вейвлеты

WAVELET ANALYSIS OF LATITUDE DISTRIBUTION AT CHARACTERISTIC POINTS OF THE LONGITUDINAL PROFILE OF THE CHANNEL OF THE SMALL RIVER IROVKA

Mazurkin P.M., Georgieva Ya.O.

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola,
e-mail: kaf_po@mail.ru, yanageorgieva2017@yandex.ru

Local latitude is formed in the North-South with the beginning at characteristic 290 points at the source of the Irka River, the river itself is in a rectangle 23.89 minutes long (in latitude) and 18.89 minutes wide (in longitude). The starting point at the source of the river is given a zero rank. The purpose of the article is the analysis of asymmetric wavelets of changing one coordinate – local latitude reduced to the Irovka River from source to mouth. After identifying the universal wave equation, 25 terms were obtained in the form of asymmetric wavelets with variable amplitude and period of oscillation. All 25 wavelets are finite-dimensional, that is, each of them has a beginning and an end to oscillatory adaptation to changes in the structure of the channel topography. Moreover, a significant part of the oscillations occurs inside the small river Irovka with a total length of 69 km. The first three members together gave a correlation coefficient of 0.9099. This level of adequacy is more than 0.9 and the general three-term equation refers to the strongest factorial connection. The remaining 22 members further increase the level of adequacy almost to a correlation coefficient of 1. Analysis showed that the local latitude of the small river Irovka, as measured by satellite imagery, gives a high degree of certainty to quantization of the relief. Residues from the 25th term gave a high modeling error at the source of the river and at the first rank of the point. In summer, the riverbed dries upstream. Errors according to characteristic points of the channel were distributed as follows: 0 – 0.1 % 95 pcs. (32.76 %); 0–1.0 % 262 pcs. (90.34 %); from 0 to 5 % 283 characteristic points of the channel, which is 97.59 % of the total number of 290 points.

Keywords: small river, satellite image, channel, points, latitude, distribution, wavelets

Изображения, передаваемые спутниками дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) находят применение во многих отраслях – сельском хозяйстве, геологических и гидрологических исследованиях, лесоводстве, охране окружающей среды, планировке территорий, образовательных, разведывательных и других целях. Космические системы ДЗЗ позволяют за короткое время получить необходимые данные с больших площадей (в том числе труднодоступных и опасных участков). Одним из возможных путей анализа ДДЗ является использование подходов математической морфологии ландшафтов – направления ландшафтоведения, изучающего закономерности построения мозаик, которые образованы на земной поверхности, и разрабатывающего методы математического анализа этих мозаик [1].

До настоящего времени не существует единого обоснованного выбора вида функции. При эволюции склона должны меняться скорость смыва и осаждения материала в разных точках профиля. Это обусловлива-

ет саморазвитие склоновых систем за счет обратной связи, когда зависящий от уклона коэффициент диффузии ответственен за саму форму профиля [2].

По инструкции [3] при клике на карту открывается информационное окно, показывающее координаты, включая широту, указанной характерной точки русла реки. Нами предлагается выбирать характерные точки от истока до устья по резким изменениям кривизны в горизонтальной плоскости и после проведения измерений составить таблицу исходных данных для последующего моделирования методом идентификации устойчивых закономерностей [4].

Цель – подробный анализ асимметричных вейвлетов изменения одной координаты – приведенной к р. Ировка широты от истока до устья. При этом количество вейвлетов показывает уровень естественности рельефа территории: чем больше выявляемых волн, тем меньше происходило антропогенное влияние на изменение ландшафта малой реки.

Материалы и методы исследования

Малая река Ировка характеризуется сопряженным чередованием озеровидных расширений в семи местах от истока до устья и соединяющих их узких проток. Этот весьма распространенный тип относится к четковидным извилистым руслам, анализ строения которых и моделирования структурных параметров может внести некоторую ясность в развитие представлений о механизмах формирования русла [5].

Для междуречий р. Большой, Малой Кокшаги и Илети на территории Республики Марий Эл характерно умеренное овражное расчленение (0,02–0,05). На территории средняя лесистость составляет 34 %, распаханность – 51 %, крутизна склонов равна около 2,5 °, глубина местных базисов эрозии – 103 м. Отсутствие оврагов наблюдается в более четверти всех бассейнов рек залесенных и расположенных в подзоне южной тайги в Марийском Полесье [6].

В табл. 1 даны результаты измерений по выпискам из всплывающего окна при нажатии курсором на выбранную точку. По течению реки от истока до устья устанавливается ось абсцисс, начиная от нуля в точке истока. В этом случае местная широта образуется в направлении Север – Юг с началом в истоке реки Ировка, которая находится в прямоугольнике 23.89 минут длиной и 18.89 минут шириной.

Колебания (вейвлет-сигналы) записываются волновой формулой [7] вида

$$y_i = A_i \cos(\pi x / p_i - a_{8i}),$$

$$A_i = a_{1i} x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i} x^{a_{4i}}),$$

$$p_i = a_{5i} + a_{6i} x^{a_{7i}}, \qquad (*)$$

где y – показатель (зависимый фактор), i – номер составляющей (*), m – количество членов в (*), x – объясняющая переменная (влияющий фактор), $a_1 ... a_8$ – параметры (*), принимающие числовые значения в ходе структурно-параметрической идентификации в среде CurveExpert-1.40, A_i – амплитуда (половина) вейвлета (ось y), p_i – полупериод колебания (ось x).

Таблица 1

Ранговые распределения характерных точек и изменения местной широты продольного профиля русла малой реки Ировка

Ранг R_α	Северная широта	Север – Юг α, минута	Расчетные значения		
			α, минута	ε_{25}, минута	Δ, %
0	N56°44.75'	0	0.000	0	∞
1	N56°44.73'	0.02	–0.029	–0.0493628	–246.81
2	N56°44.56'	0.19	0.231	0.0407685	21.46
3	N56°44.55'	0.20	0.167	–0.0326814	–16.34
4	N56°44.48'	0.27	0.200	–0.0698822	–25.88
…	…	…	…	…	…
285	N56°20.96'	23.79	23.779	–0.0107833	–0.05
286	N56°20.92'	23.83	23.809	–0.021413	–0.09
287	N56°20.91'	23.84	23.823	–0.017154	–0.07
288	N56°20.88'	23.87	23.865	–0.0053683	–0.02
289	N56°20.86'	23.89	23.897	0.00741297	0.03

Результаты исследования и их обсуждение

Характерные точки выбирали визуально относительно быстро. Повышается наглядность под углом 90^0 космического снимка [3]. На снимке хорошо видна растительность и другие объекты, например строения и огороды вдоль русла реки.

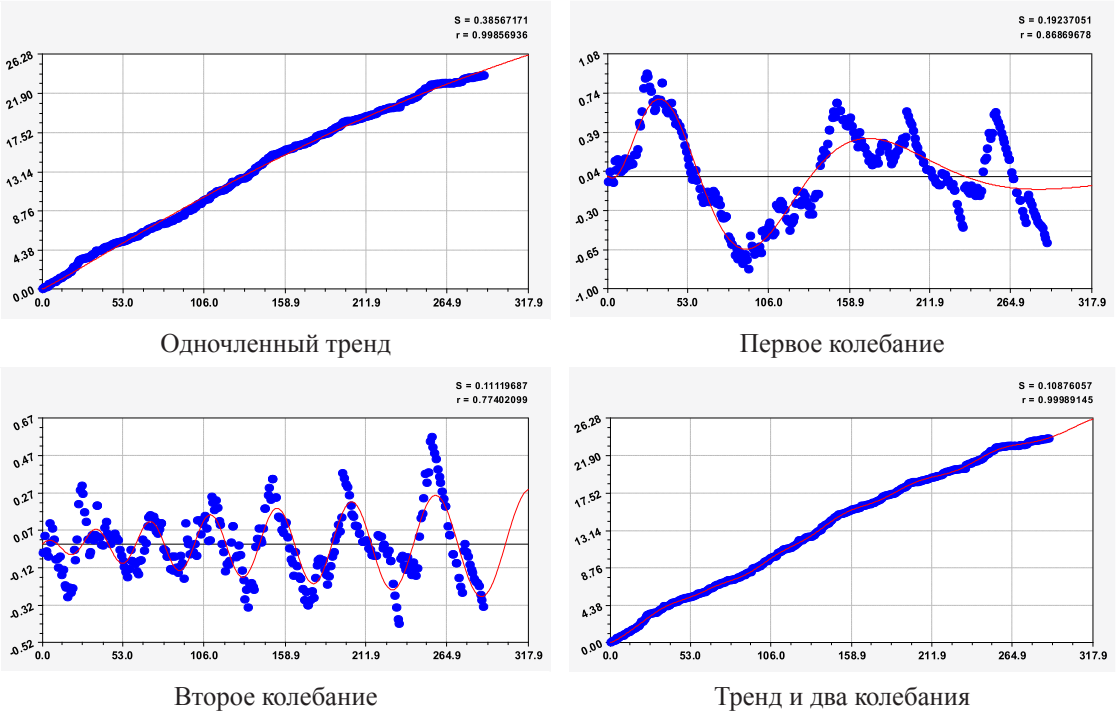
На спутниковых снимках измерения отличаются оперативностью и возможностью быстрого измерения координат любой принятой точки, при этом измерения происходят с очень малой трудоемкостью. Из-за трудностей векторизации в сравнении с спутниковыми снимками [3] ГИС Панорама 11 имеет высокую трудоемкость.

После идентификации формулы (1) было получено 25 вейвлетов (табл. 2, рис. 1–4).

Остатки от 25-го колебания дали высокую погрешность моделирования в истоке реки (из-за начала координаты широты) и при первом ранге характерной точки (табл. 1). Почти до четвертого ранга летом происходит пересыхание русла малой реки Ировка. По интервалам погрешности распределились следующим образом: 0–0,1% всего 95 шт. (32,76%); 0–1,0% всего 262 шт. (90,34%); от 0 до 5% всего 283 характерные точки русла малой реки Ировка, что составляет 97,59% от общего количества 290 характерных точек. Норму погрешности измерений и моделирования примем до 5%, тогда оставшиеся 290 – 283 = 7 характерных точек русла требуют отдельного рассмотрения.

Первые три вейвлета дали по возможностям программной среды CurveExpert-1.40 коэффициент корреляции 0.9099, а последующие члены получены по отдельности. Первый член является биотехническим законом [6], и он показывает часть большей волны с периодом колебания, намного большим длины малой реки Ировка. Первое колебание показывает снижение, а второе – повышение амплитуды. Остальные вейвлеты имеют свой характер.

Таким образом, географическая широта вдоль малой реки изменяется волнообразно, на что, конечно же, влияет колеблющееся расстояние между характерными точками вдоль стрежня малой реки. Причем характерные точки выбирались по резким изменениям кривизны русла. Река Ировка является простой по структуре: она имеет одно русло без островов и разветвлений. В связи с этим стрежень проходит вдоль самого русла малой реки. По-видимому, сложные структуры реки с островами и ответвлениями требуют выделения нескольких линий водотоков. Аналогичные рис. 2 графики получены для вейвлетов 10–15.



Одночленный тренд

Первое колебание

Второе колебание

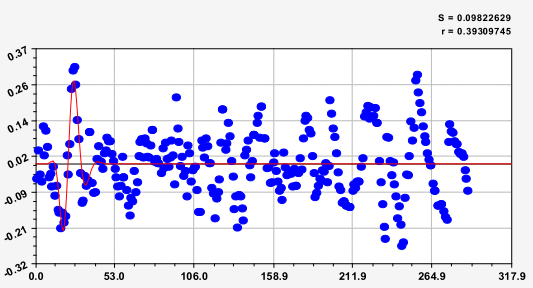
Тренд и два колебания

Рис. 1. Графики первых трех моделей рангового распределения широты реки Ировка

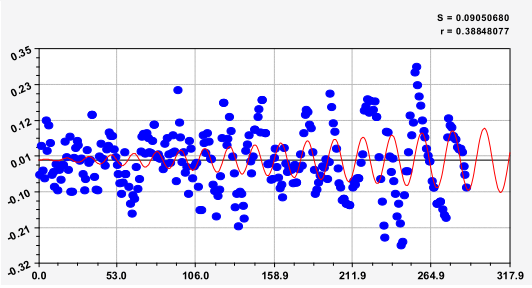
Таблица 2

Параметры моделей рангового распределения местной широты реки Ировка

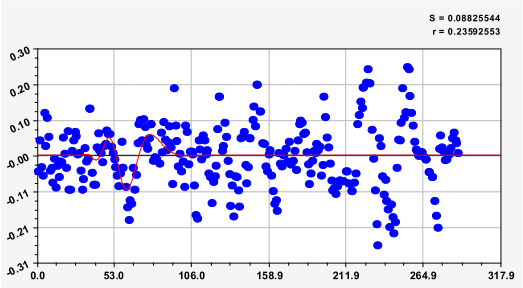
Номер i	Вейвлет $y_i = a_{1i} x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i} x^{a_{4i}}) \cos(\pi x / (a_{5i} + a_{6i} x^{a_{7i}}) - a_{8i})$								Коэф. кор. r
	Амплитуда (половина) колебания				Полупериод колебания			Сдвиг	
	a_{1i}	a_{2i}	a_{3i}	a_{4i}	a_{5i}	a_{6i}	a_{7i}	a_{8i}	
1	0.063641	1.13065	0.0016008	1	0	0	0	0	0.9999
2	0.00040393	3.51567	0.57696	0.58745	110.82755	–0.0022800	1.80206	0.15740	
3	–0.0036181	0.79204	0	0	15.03608	0.023405	1	3.84747	
4	1.12528e-14	14.62515	0.617963	1.01535	8.84480	0.247021	0	0	0.3931
5	0.00028646	1.02192	0	0	7.24585	0.0014330	1.1280	4.91773	0.3885
6	6.60099e-28	18.34451	0.131461	1.15452	1.25931	0.0308397	1.09014	19.7736	0.2359
7	5.75800e-82	38.2302	0.00700051	1.49880	15.61082	0	0	7.53893	0.5908
8	2.44508e-7	13.87948	2.10384	0.904660	5.95729	0.872172	1.13212	0.13929	0.1509
9	9.55798e-43	21.51899	0.00423083	1.60704	2.76779	0.0212579	1.00668	8.56668	0.4394
10	6.90749e-15	7.33887	0.0547866	0.999169	11.73840	0.0638034	0.999864	3.56826	0.1155
11	4.93135e-7	2.66385	0.0119845	1.0067	6.61980	0.00112116	0.963002	0.36049	0.4689
12	0.00040243	1.06255	0.0132666	0.976249	0.939751	0	0	4.50696	0.1544
13	0.00256065	0.742944	0.0117076	0.999885	2.93349	6.91697e-5	0.905847	0.94684	0.2387
14	2.14587e-8	6.29076	0.228905	0.999573	1.38802	0.00169327	1.00323	2.35141	0.1599
15	8.25269e-17	9.78903	0.353983	0.758466	2.13155	1.69978	0	0	0.2122
16	2.99522e-8	6.69529	0.528126	0.805273	4.39546	0.0011770	1.37960	2.34904	0.2666
17	1.00663e-7	3.18087	0.00075787	1.67431	5.61483	0	0	1.74651	0.3304
18	6.76571e-32	20.03587	0.238810	0.999523	3.11307	0.0306280	1.00022	1.80334	0.2530
19	1.91948e-12	4.19546	0	0	27.68004	0.0405511	1.00147	1.69522	0.2020
20	8.76625e-6	2.21622	0.122793	0.644558	4.76183	0	0	2.98586	0.3489
21	1.07760e-5	1.39302	0	0	3.99424	1.32155	0	0	0.2527
22	1.51462e-17	7.83412	0.0282323	1.02879	3.67720	0.288642	0	0	0.2730
23	1.49746e-27	13.20323	0.0599409	1.00062	5.53966	0.00166063	1.00596	3.56522	0.2418
24	7.48490e-8	3.46675	0.0349280	0.997189	4.57673	0.00043153	1.06958	0.84619	0.2217
25	1.83106e-12	5.41165	0.0312327	1.00042	6.87889	0.00224893	1.00474	1.86238	0.1262



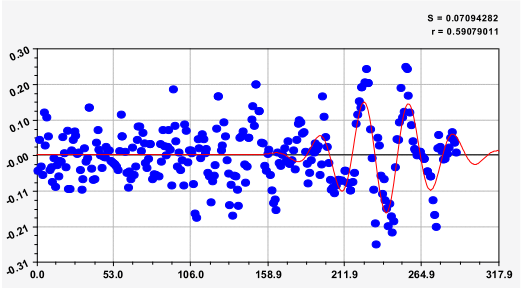
Четвертая составляющая



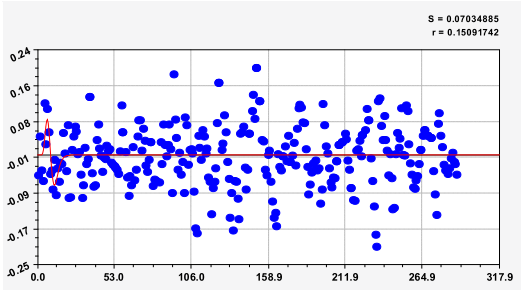
Пятая составляющая



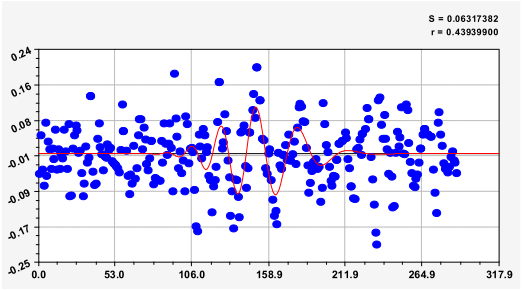
Шестая составляющая



Седьмая составляющая



Восьмая составляющая



Девятая составляющая

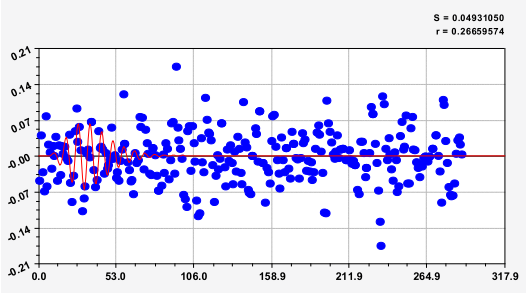
Рис. 2. Графики моделей рангового распределения широты реки Ировка (4 … 9 составляющие)

На рис. 3 заметны несколько коротких по характерным точкам вейвлетов.

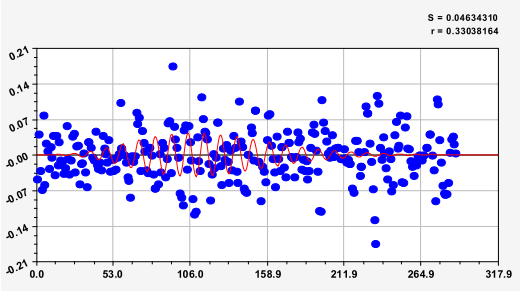
При этом 16-я составляющая общей модели (*) находится почти около истока Ировки. Из-за обмеления многих малых рек, по-видимому, именно из-за этого резкого колебания географических координат (аналогично и по долготе) около истока реки появляются пересыхающие летом участки. 19-я составляющая показывает переход колебания широты после устья малой реки Ировка. Колебательная адаптация русла малой реки к рельефу местности происходит за долгое время. Для реки Ировка, судя по четковидной структуре, рельеф изменился в конце последнего оледенения примерно 12 тысяч лет назад. С тех пор колебания земной коры привели к сложной структуре изменения в рельефе местности, в частности широты характерных точек русла реки. На длине в 69 км реки Ировка имеются семь озеровидных расширений и четыре притока. Поэтому бассейн р. Ировка на площади 917 км^2 получает еще большую сложность в колебательных изменениях географических координат.

На рис. 4 приведены графики колебаний широты по последним вейвлетам. Все они являются конечномерными колебаниями, находящимися внутри длины малой реки Ировка.

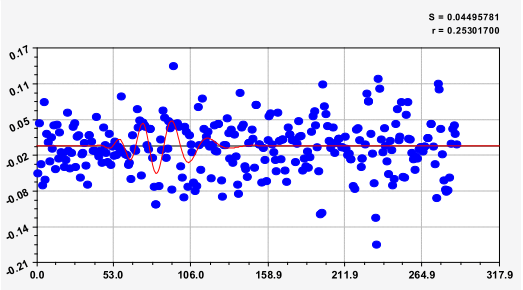
После 25-го члена (*) процесс квантования вейвлетов сильно затрудняется. Поэтому условно можно принять, что он становится границей квантовой определенности для широты. Для продолжения квантования нужно повысить точность измерений. Во всяком случае, пока нет уверенности в том, что рельеф получает квантовую запутанность, как это происходит при моделировании асимметричными вейвлетами динамики метеорологических параметров.



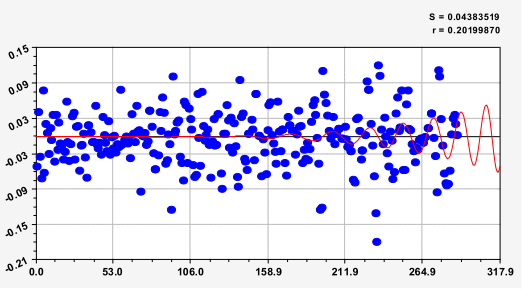
16-я составляющая



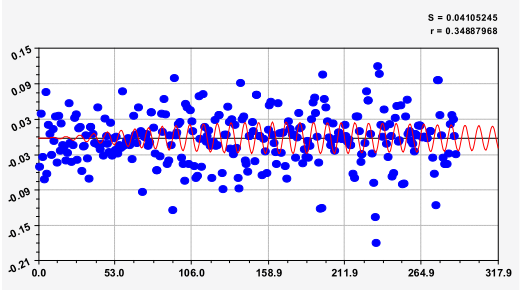
17-я составляющая



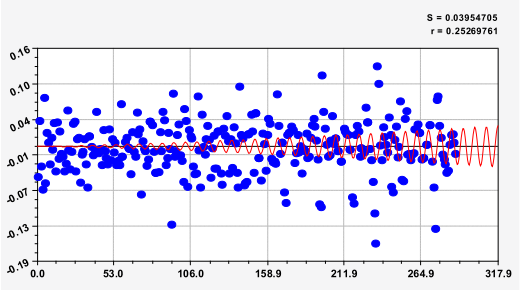
18-я составляющая



19-я составляющая

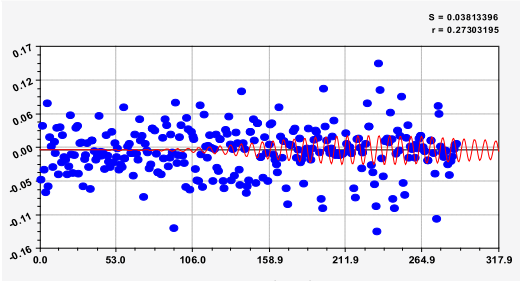


20-я составляющая

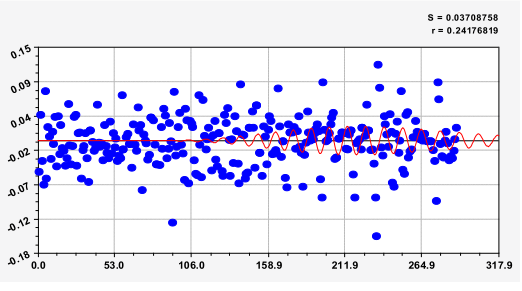


21-я составляющая

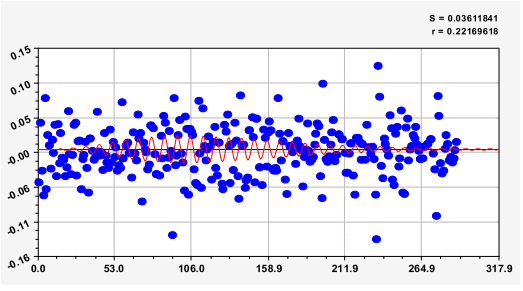
Рис. 3. Графики моделей рангового распределения широты реки Ировка (16 … 21 составляющие)



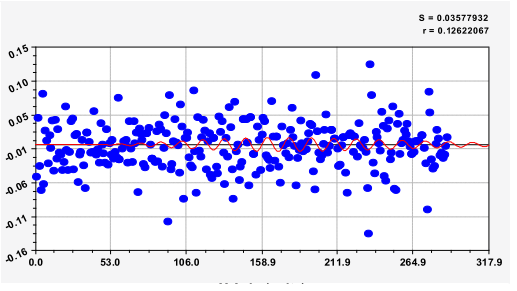
22-я составляющая



23-я составляющая



24-я составляющая



25-я составляющая

Рис. 4. Графики последних моделей рангового распределения широты р. Ировка (22 … 25 составляющие)

Заключение

Спутниковые снимки в программной среде по инструкции [3] позволяют оперативно изучать территорию малых рек и составлять таблицы координат, в частности по местной широте, для статистического моделирования. При этом особое значение приобретает волновое изменение местной широты от Севера на Юг (от истока до устья малой реки Ировка).

Изменение местной широты по рангам характерных точек вдоль стрежня русла малой реки Ировка позволило идентифицировать 25 членов в виде асимметричных вейвлетов. Причем все 25 вейвлетов являются конечномерными, то есть каждый из них имеет начало и конец колебательной адаптации к долговременным изменениям рельефа. При этом значительная часть колебаний происходит внутри общей длины реки Ировка длиной 69 км.

Первые три члена дали коэффициент корреляции 0.9099, уровень адекватности более 0.9 или сильнейшей связи. Остальные 22 члена повышают уровень адекватности почти до 1. Местная широта малой реки Ировка по измерениям на космических снимках 2015 г. дает высокую определенность процесса квантования. Поэтому метод [7] идентификации изменения координат точек русла рекомендуется для изучения структуры и других малых рек.

Список литературы / References

1. Садков С.А. Исследование морфологической структуры равнин с развитием просадочных процессов на основе подходов математической морфологии ландшафтов // Геоморфология. 2019. № 1. С. 48–58. DOI: 10.31857/S0435-42812019148-58.

Sadkov S.A. Morphological structure of plains subject to ground Subsidence on the basis of mathematical morphology of landscapes approach // Geomorphology. 2019. № 1. P. 48–58 (in Russian).

2. Салугин А.Н., Кулик А.В. Математическое моделирование развития продольного профиля делювиального склона // Геоморфология. 2019. № 1. С. 59–65. DOI: 10.31857/S0435-42812019159-65.

Salugin A.N., Kulik A.V. Mathematical modeling of the development of the long profile of a deluvial slope // Geomorphology. 2019. № 1. P. 59–65 (in Russian).

3. Карты высот, уклонов. [Электронный ресурс]. URL: http://votetovid.ru/#56.201192,48.95536,17z,51v30l (дата обращения: 02.10.2019).

Maps of heights, slopes. [Electronic resource]. URL: http://votetovid.ru/#56.201192,48.95536,17z,51v30l (date of access: 02.10.2019) (in Russian).

4. Мазуркин П.М., Зверев В.И., Толстухин А.И. Статистическая гидрология: учебное пособие. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. 274 с.

Mazurkin P.M., Zverev V.I., Tolstukhin A.I. Statistical Hydrology: A Training Manual. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2002. 274 p. (in Russian).

5. Тарбеева А.М. О происхождении четковидной формы русел малых рек криолитозоны // Геоморфология. 2018. № 1. С. 88–95. DOI: 10.7868/S043542811801008X.

Tarbeeva A.M. On the Origin of Beaded River Channels Shape in the Permafrost Zone // Geomorphology. 2018. № 1. P. 88–95 (in Russian).

6. Ермолаев О.П., Рысин И.И., Голосов В.Н. Картографирование овражной эрозии на востоке Русской равнины // Геоморфология. 2017. № 2. С. 38–51. DOI: 10.15356/0435-4281-2017-2-38-51.

Yermolayev O.P., Rysin I.I., Golosov V.N. Mapping assessment of gully erosion in the east of the russian plain // Geomorphology. 2017. № 2. P. 38–51 (in Russian).

7. Mazurkin P.M. Wavelet Analysis Statistical Data. Advances in Sciences and Humanities. 2015. Vol. 1.No. 2. P. 30–44. DOI: 10.11648/j.ash.20150102.11.

УДК 551.89:551.797 (571.63)

ПОЗДНЯЯ ФАЗА АТЛАНТИЧЕСКОГО ПЕРИОДА ГОЛОЦЕНА НА ЮГЕ ПРИМОРЬЯ

Микишин Ю.А., Петренко Т.И., Гвоздева И.Г.

ФГБУН «Дальневосточный геологический институт» ДВО РАН, Владивосток, e-mail: yurimikishin@fegi.ru

На основе изучения новых, а также исследованных ранее разрезов голоценовых отложений на континентальной и островной частях южного Приморья восстановлена наиболее полная картина ландшафтно-климатических изменений в позднюю фазу атлантического периода голоцена. 1. 6800–6600 календарных лет назад: время первого относительного похолодания, близкого к современному климату. В растительном покрове преобладают широколиственные леса с преимуществом дуба. Хвойно-широколиственные леса играют небольшую роль в горах. 2. 6600–6400 л.н.: время оптимального, возможно максимального в голоцене, потепления климата. Развиваются дубово-грабовые леса. Участие граба (содержание пыльцы 20–25 %) в лесах островов шире, чем в континентальной растительности (9–16 %). 3. 6400–6300 л.н.: время второго относительного похолодания, вызвавшего резкое обеднение широколиственных лесов грабом, в меньшей степени ильмом и орехом. 4. 6300–6050 л.н.: время первого относительного потепления, с условиями прохладнее оптимальных, но существенно превышавших современные. Распространяются широколиственные леса с преобладанием дуба и большим участием граба, чаще встречающегося на островах. 5. 6050–5800 л.н.: время третьего, наиболее продолжительного относительного похолодания. Как и предыдущие похолодания, оно вызвало выпадение граба из состава широколиственных лесов. Хвойно-широколиственные леса сокращают до минимума своё участие в растительности гор. 6. 5800–5500 л.н.: время второго относительного потепления, превышавшего, возможно, уровень предыдущего. На островах развиваются дубово-грабовые леса, на континенте – широколиственные, с преобладанием дуба и большим участием граба. В горах восстанавливается прежняя небольшая роль хвойно-широколиственных лесов. 7. 5500–5300 л.н.: время третьего относительного потепления, бывшего прохладнее и, вероятно, намного влажнее предыдущего. В растительности южного Приморья появляются настоящие полидоминантные широколиственные леса, с близким участием дуба, ореха, ильма, граба, липы и сирени. В горах территории, впервые с середины атлантического периода голоцена, хвойно-широколиственные леса получают распространение, сопоставимое с их ролью в современном растительном покрове юга Приморья.

Ключевые слова: атлантический период голоцена, торфяник, спорово-пыльцевой комплекс, пыльца граба, дубово-грабовые леса, палеоландшафт, палеоклимат

LATE PHASE OF ATLANTIC PERIOD OF THE HOLOCENE IN SOUTHERN PRIMORYE (RUSSIAN FAR EAST)

Mikishin Yu.A., Petrenko T.I., Gvozdeva I.G.

Far East Geological Institute Far Eastern Branch RAS, Vladivostok, e-mail: yurimikishin@fegi.ru

Based on the study of new and previously studied Holocene sedimentary sections from the continental and island parts of the Southern Primorye, the most complete picture of landscape and-climatic changes during the late phase of the Atlantic Period of the Holocene was reconstructed. 1. 6800–6600 calendar years ago – the time of the first relative cooling, close to the modern climate. The vegetation cover is dominated by broad-leaved forests with prevalence of oak. Coniferous-broadleaved forests are unessential in the mountains. 2. 6600–6400 Cal. yr BP – the time of the optimal, possibly maximum, climate warming in the Holocene. Oak-hornbeam forests are developing. A hornbeam participation (pollen content is 20–25 %) in the forests of the islands is wider than in the continental vegetation (9–16 %). 3. 6400–6300 Cal. yr BP – the time of the second relative cooling, which caused a sharp depletion of broad-leaved forests with hornbeam, to a lesser extent elm and walnut. 4. 6300-6050 Cal. yr BP – the time of the first relative warming with conditions that are cooler than optimal but significantly exceeding modern ones. Broadleaved forests with oak predominance and a large participation of hornbeam, which is more common on the islands, are abundant. 5. 6050–5800 Cal. yr BP – the time of the third, the most prolonged relative cooling. As with the previous coolings, it caused the hornbeam disappearance from broadleaved forests. Coniferous-broadleaved forests minimize their participation in the vegetation of the mountains. 6. 5800–5500 Cal. yr BP – the time of the second relative warming, possibly exceeding the level of the previous one. Oak-hornbeam forests develop on the islands and broadleaved forests with oak predominance and a large participation of hornbeam are widespread on the continent. In the mountains, the original small state of coniferous-broadleaved forests is being restored. 7. 5500–5300 Cal. yr BP – the time of the third relative warming, which was cooler and probably much wetter than the previous one. In the vegetation of southern Primorye, the real polydominant broadleaved forests with close participation of oak, walnut, elm, hornbeam, linden and lilac appear. In the mountains of the territory, for the first time since the Middle of Atlantic Period of Holocene, coniferous-broadleaved forests are getting development comparable to their role in the modern vegetation cover of the Southern Primorye (Russian Far East).

Keywords: Atlantic Period of Holocene, peat-bog, pollen assemblage, hornbeam pollen, oak-hornbeam forests, paleolandscape, paleoclimate

Поздняя фаза атлантического периода (далее ПАТ), согласно схеме периодизации голоцена, модифицированной для Северной Евразии [1], продолжалась около 1500 лет, с 6000 радиоуглеродных лет назад (далее л.н.) до 4600 л.н. Приведение возрастных рамок к астрономическому возрасту определяет их в 6800–5300 календарных лет

(далее к.л.н.). В начале этого времени, около 6000–5500 л.н. / 6800–6300 к.л.н., происходило одно из значительных потеплений климата, отнесённое к оптимуму голоцена во многих регионах Земли [2–4]. В Приморье оно подтверждено изучением обширного фактического материала в последней четверти прошлого века, и рассмотрено как часть всего послеледникового термического максимума, либо как второй климатический оптимум атлантического периода голоцена [5]. В растительности, согласно этим исследованиям, преобладали полидоминантные (применение этого термина к растительным группировкам с преобладанием одной породы, введённое в оборот в 1970-е гг. и до сих пор используемое многими авторами, крайне неудачно) широколиственные леса с преимуществом дуба и максимальным участием термофильных пород, таких как граб и орех (*Juglans*). Реже встречались орехово-дубовые леса с грабом и ясенем. Постоптимальное время ПАТ, около 5200–4500 л.н. / 6000–5000 к.л.н., отличалось похолоданием климата, отмеченным наступанием горных ледников в разных районах Земли [2]. Ландшафтно-климатические изменения этого времени в Приморье оставались слабо изученными, за исключением относительного похолодания около 5600–5400 л.н. [5].

Более поздние исследования, проведённые в 1998–2008 гг. [6], дали возможность подробнее рассмотреть историю природы юга Приморья в течение ПАТ. Было выявлено относительное похолодание, происходившее в начале фазы (6600–6450 к.л.н.), оптимальное потепление, при котором развивались дубово-грабовые леса – в середине (6450–6000 к.л.н.), относительное похолодание – в конце (6000–5500 к.л.н.), и потепление прохладнее оптимального – на завершении атлантического периода (5500–5200 к.л.н.).

В дальнейшем, после изучения голоцена островных территорий, максимальное потепление было отнесено к завершающей стадии ПАТ, около 4750 л.н. / 5500 к.л.н. [7, 8]. Его хронология нарушала прежнюю схему палеоклиматических колебаний. Кроме того, возникла неопределённость в хронологии постоптимального похолодания, датированного на континентальной части южного Приморья концом ПАТ (5100 л.н. / 5800–5900 к.л.н.). На островах в одновозрастных отложениях был установлен спорово-пыльцевой комплекс (далее СПК), отразивший растительность, развивавшуюся в климатических условиях намного теплее современных. Отмеченные несоответствия в хронологии и последовательности событий вызвали необходимость в дополнительном изучении коротко-периодичных изменений ПАТ южного Приморья. Важность его проведения подчёркивается небольшим прогрессом, достигнутым в решении этого вопроса в работах самых последних лет [9–12].

Цель исследования: уточнить характер, последовательность и геохронологию ландшафтно-климатических изменений на юге Приморья в течение ПАТ.

Материалы и методы исследования

Изучены отложения торфяников на о. Русский и в долине р. Рязановка (рис. 1), а также лагунно-морские осадки в долине р. Раздольной. Спорово-пыльцевым анализом исследовано 33 образца, в том числе 20 – из разреза «Пб-10», 10 – из «Подножье-I» и 3 – из «Скв. Раздолье». Обработка проб выполнялась по стандартным методикам, с двукратным обогащением в тяжёлой калиево-кадмиевой жидкости. В каждом образце насчитывалось 600–1000 зёрен пыльцы и спор, из которых 300–500 принадлежит древесным растениям. В общем составе спорово-пыльцевых спектров участие групп пыльцы деревьев и кустарников, трав и кустарничков, а также спор устанавливалось от всего количества микрофоссилий. Содержание компонентов спектра подсчитывалось отдельно в группах пыльцы древесных пород, трав и кустарничков, а также спор. Реконструкция палеорастительности выполнена на результатах изучения субфоссильных СПК [13]. Теплообеспеченность палеоклиматических событий оценивалась количеством пыльцы теплолюбивого граба (*Carpinus*), повышенное присутствие которой в отложениях атлантического периода отмечено большинством исследователей голоцена Приморья [5–8, 10–12, 14]. За уровень, соответствующий современным климатическим условиям, принято максимальное количество (3–4 %) её пыльцы в субфоссильных спектрах. Фоссильные спорово-пыльцевые спектры с пиковым содержанием пыльцы граба свыше 10 %, наряду с преобладающим в них дубом, рассматриваются нами как отражение дубово-грабовых лесов, существовавших на юге Приморья в наиболее тёплые эпохи голоцена.

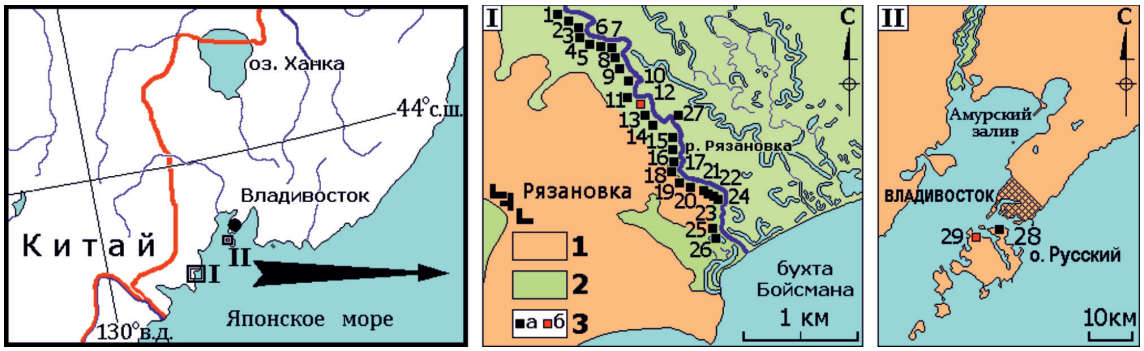


Рис. 1. Схема районов исследования.
1 – низкогорные массивы, 2 – низкие аккумулятивные террасы, 3 – разрезы голоценовых отложений: а – изученные ранее [6, 8], б – рассмотренные в данной статье.
I – долина р. Рязановка: 1 – «Дорога», 2 – «Дорога-2», 3 – «Правый берег – 036», 4 – «Д-3», 5 – «Д-4», 6 – «Пб-6/2», 7 – «Пб-7», 8 – «Пб-8», 9 – «Правый берег – 99», 10 – «Правый берег», 11 – «Пб-9», 12 – «Пб-10», 13 – «Пб-5», 14 – «Пб-4», 15 – «Пб-3», 16 – «Пб-3а», 17 – «Пб-2а», 18 – «Пб-2», 19 – «Пб-1», 20 – «Пб-15», 21 – «Мойка», 22 – «Мойка-2», 23 – «Пб-11», 24 – «Устричник-2», 25 – «Скв. 3», 26 – «Скв. 4», 27 – «Левый берег». II – о. Русский: 28 – «Поспелово», 29 – «Подножье-I»

Абсолютный возраст отложений определялся в лабораториях палеоклиматологии кайнозоя Института геологии и минералогии СО РАН (8 радиоуглеродных дат, индекс СОАН), «Геоморфологические и палеогеографические исследования полярных регионов и Мирового океана» Института наук о Земле СПбГУ (2 даты, индекс ЛУ), а также «Paleo Labo Co., Ltd.», Сайтама, Япония (1 AMS-дата, индекс PLD). Стратиграфическое расчленение горизонтов, выделенных в разрезах, проведено в соответствии со схемой периодизации голоцена Блитта – Сернандера, модифицированной для Северной Евразии [1].

Результаты исследования и их обсуждение

На острове Русский болотные отложения стали накапливаться сразу после максимума послеледниковой трансгрессии Японского моря и поэтому распространены на побережье [8]. Одним из районов острова, где они слагают прибрежную террасу, является северный берег бухты Новик. Здесь изучен разрез торфяника «Подножье-I» (43 °02'46.1" с.ш., 131 °49'01.0" в.д.), лежащий западнее причала у одноимённого посёлка (рис. 1). В расчищенном уступе низкой аккумулятивной террасы (абс. высота около 1,5 м) на берегу моря вскрыты следующие отложения, в см:

– 0–7– супесь светло-серого цвета с корнями травы;

– 7–30 – галечник из мелкой и средней гальки хорошей окатанности с супесчаным заполнителем светло-серого цвета;

– 30–108 – торф, сильно разложившийся, чёрного цвета, с примесью песка, гравия и мелкой, хорошо окатанной гальки, в интервале 98–103 см – фрагментов стеблей тростника;

– 108–124 – торф низинный тростниковый плохо разложившийся, тёмно-бурого цвета, с включением средне-мелкозернистого песка;

– 124–129 – супесь серовато-коричневого цвета с тонкими прослоями суглинка мягкопластичной консистенции, с включением ризоидов мхов;

– 129–143 – гумусовый горизонт погребённой почвы – торф, сильно разложившийся, суглинистый, серовато-чёрного цвета;

– 143–146 – торф зостеровый (?) чёрного цвета, средней степени разложения;

– 146–206 – глина синевато-серого цвета с фрагментами стеблей трав и ризоидов мхов, включением щебня и плохо окатанной гальки алевролитов;

– 206–230 – щебень крупный и плохо окатанная галька, с отдельной хорошо окатанной галькой и дресвой, с глинистым заполнителем светло-серого цвета.

На спорово-пыльцевой диаграмме отложений (представлены результаты изучения только нижней части разреза, в интервале 111–230 см) выделяются следующие СПК (рис. 2).

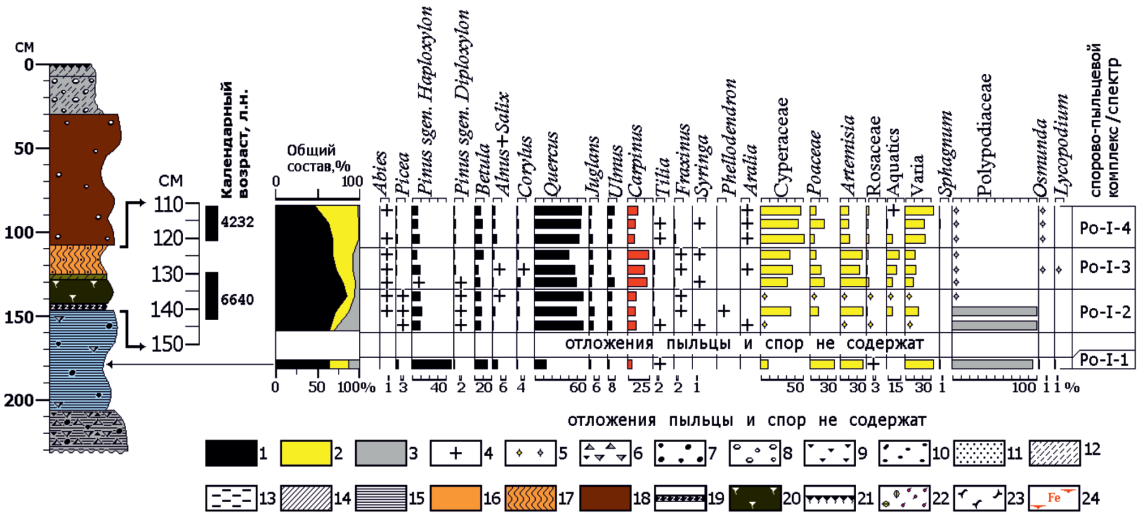


Рис. 2. Спорово-пыльцевая диаграмма отложений разреза «Подножье-I». Пыльца и споры: 1 – пыльца деревьев и кустарников, 2 – пыльца трав и кустарничков, 3 – споры, 4 – содержание пыльцы и спор менее 1%, 5 – % не подсчитан из-за малого числа обнаруженных зёрен пыльцы и спор. Литология: 6 – щебень, 7 – галька плохо окатанная, 8 – галька хорошо окатанная, 9 – дресва, 10 – гравий, 11 – песок, 12 – супесь, 13 – алеврит, 14 – суглинок, 15 – глина, 16 – торф низинный, сильно разложившийся, 17 – торф низинный тростниковый, 18 – торф верховой сильно- и среднеразложившийся, 19 – торф зостеровый (?), 20 – погребённая почва, 21 – дерновый горизонт современной почвы, 22 – орехи (Juglans mandshurica) и семена водных растений красного цвета, 23 – мелкие обломки древесины, 24 – ожелезнение

1. Делювиальные отложения в основании разреза пыльцы и спор не содержали. В перекрывающих их синевато-серых глинах (интервал 146–206 см), предположительно имеющих морской генезис (находки фауны и диатомей отсутствуют), пыльца и споры обнаружены лишь в пробе на глубине 179 см. Спорово-пыльцевой спектр (далее СПС) Po-I-1 имеет в общем составе лидерство пыльцы деревьев и кустарников (64%). Среди неё преобладают хвойные породы, в основном кедр (сосна) корейский (*Pinus koraiensis*) – 47% и ель – 3,5%). Пыльца широколиственных деревьев, занимающая в спектре второе место, образована дубом (14%), реже грабом (4.7%), а также ильмом, орехом, лещиной и липой (до 2%). Среди пыльцы мелколиственных пород больше берёз (15%), чем ольхи (6%). В группе пыльцы трав доминируют разнотравье (34%), злаки (29%) и полынь (27%). СПС Po-I-1 отразил развитие хвойно-широколиственных лесов. Близкие черты спектра и СПК Vn-2, из погребённой почвы в долине р. Виноградной с абсолютным возрастом около 6555 л.н. / 7470 к.л.н., СОАН-7181 [6], позволяют отнести его формирование к относительному похолоданию средней фазы атлантического периода голоцена.

2. Горизонт зостерового (?) торфа и нижняя часть гумусового слоя палеопочвы в основании торфяника (133–146 см) содержат СПК Po-I-2. В общем составе комплекса, по сравнению с нижележащими отложениями, до 65–85% повышается содержание пыльцы деревьев и кустарников, свидетельствуя об усилении роли лесов в растительности острова. В составе пыльцы древесных пород отмечается господство (76–81%) широколиственных деревьев, с преимуществом дуба (50–58%), реже граба (9–10%), ореха (до 6%), ильма (до 5%) и липы (до 2%). В незначительном количестве (< 1%) встречена пыльца ясеня, сирени, бархата и древесных пород семейства аралиевых. Пыльца хвойных пород, стоящая в комплексе на втором месте, образована кедром корейским (10–12%), елью и пихтой (до 1%). Мелколиственные породы представлены берёзами (7–8%), реже – ольхой и ивами (до 3%). Среди пыльцы трав преобладают осоковые (до 37%) и полынь (до 27%). Реже фиксируются разнотравье (до 16%), злаковые (до 12%) и водные растения (до 7%). Споры образованы только папоротниками Polypodiaceae. СПК Po-I-2 отвечает широколиственным лесам с преобладанием дуба и большим участием граба, а также хвойно-широколиственным ассоциациям – на ограниченных

участках горных массивов острова. Климат был намного теплее и влажнее современного (содержание пыльцы граба в 2,2–3,3 раза превышает максимальные значения субфоссильных спектров). Абсолютный возраст потепления древнее 5800 л.н. / 6600 к.л.н., поскольку дата (таблица, № 27) получена по отложениям погребённой почвы, перекрывающим горизонт зостерового (?) торфа. Поэтому обнаруженное событие мы связываем с потеплением в конце средней фазы атлантического периода голоцена, около 6200–5900 л.н. / 7100–6700 к.л.н. [6].

3. Верхняя часть гумусового горизонта палеопочвы и перекрывающая её супесь (124–133 см) содержат СПК Po-I-3. В общем составе комплекса сохраняется лидирующая роль пыльцы деревьев и кустарников (70–80 %), среди которой происходит дальнейший рост доли широколиственных пород, достигающих максимальных значений (79–92 %). Ведущее значение дуба при этом несколько снижается (до 41–50 %), а граба, занимающего второе место, увеличивается до 20–25 %, что в 5–8 раз больше его максимального содержания в субфоссильных спектрах юга Приморья. Пыльца остальных широколиственных пород сохраняет прежние позиции. В то же время уменьшается участие пыльцы хвойных пород, в основном кедра корейского (до 6–10 %). Содержание других хвойных (ель, пихта, сосна *Pinus subgen*. Diploxylon) не превышает в сумме 3–4 %. Среди немногочисленной пыльцы мелколиственных пород больше берёз (4–9 %), чем ольхи. СПК Po-I-2 отразил произрастание дубово-грабовых лесов, покрывавших большую часть о. Русский. Хвойно-широколиственные леса сохранились, вероятно, только на вершинных участках низкогорий острова. Столь термофильный характер растительности фиксирует наступление оптимальных климатических условий, превышавших уровень потепления средней фазы атлантического периода голоцена [6]. Абсолютный возраст оптимума около 5800 л.н. / 6600 к.л.н. (таблица, № 27), что позволяет отнести его к началу ПАТ.

4. Слой низинного торфа в интервале 111–124 см содержит СПК Po-I-3, общий состав которого отмечает падение количества пыльцы древесных пород (50–70 %) и рост – травянистых растений (30–50 %). Эти изменения указывают на сокращение лесопокрытых площадей и расширение открытых пространств на острове. Среди древесной пыльцы доминируют широколиственные породы, с подросшей ролью дуба (52–54 %), и снизившейся, по сравнению с предыдущим комплексом, но ещё высокой долей граба (8–12 %). СПК Po-I-3 отразил развитие дубово-грабовых лесов с меньшей встречаемостью граба, по сравнению с растительностью оптимума ПАТ, а также незначительное присутствие хвойно-широколиственной растительности на низкогорьях острова. Климат был прохладнее, чем в оптимальное время, но намного теплее и влажнее современных условий. Радиоуглеродная дата около 3800 л.н. / 4200 к.л.н. (таблица, № 26) указывает на принадлежность события к середине суббореального периода голоцена.

В долине р. Рязановка отложения ПАТ широко представлены в чехле низкой аккумулятивной террасы (рис. 3). Среди них наибольший интерес для изучения динамики вековых ландшафтно-климатических изменений представляет слой низинного торфа, лежащий на глубине 2–2,7 м от поверхности террасы и прослеженный по правому берегу реки на расстоянии около 500 м [6]. В 1,5 км выше устья р. Рязановка, где его мощность достигает 40–42 см, изучен разрез «Пб-10» (42 °47'55.3" с.ш., 131 °16'13.3" в.д.) (рис. 4). Сверху вниз в разрезе вскрываются следующие слои, в см:

– 0–20 – Песок мелкий жёлтого цвета;

– 20–80 – Торф сильно разложившийся, с корнями трав;

– 80–100 – Суглинок тёмно-серого цвета;

– 100–112 – Торф верховой средне разложившийся, черновато-бурого цвета;

– 112–120 – Суглинок буровато-серого цвета;

– 120–145 – Алеврит песчанистый, голубовато-серого цвета;

– 145–160 – Гравий песчанистый ожелезнённый, ржаво-бурого цвета;

– 160–166 – Песок мелкий алевритовый, голубовато-серого цвета;

– 166–210 – Гравий мелкий ожелезнённый, ржаво-бурого цвета;

– 210–230 – Глина тёмно-серого цвета;

– 230–272 – Торф низинный сильно разложившийся, светло-коричневого цвета, с включением многочисленных мелких обломков древесины, маньчжурских орехов и мелких круглых семян красного цвета водных (?) растений. В интервале 258–272 см присутствуют тонкие (мощность 0,3–1 см) прослои алеврита светло-серого цвета, включения гравия и мелкой плохо окатанной гальки алевролитов;

– 272–277 – Гравий и щебень алевролитов, уплощённый, с песчано-глинистым заполнителем тёмно-серого цвета.

Радиоуглеродные датировки образцов изученных отложений ПАТ

№ п/п	Разрез, координаты	Лаб. №	Глубина отбора, см	Материал	Возраст образца	
					радиоуглерод-ный, л.н.	календарный, к.л.н.*
Долина р. Рязановка, лагунно-морские отложения						
1	«Погребённый устричник-II» [6] 42°47'33.0" с.ш. 131°16'40.1" в.д.	СОАН-4127	0–30	раковины моллюсков	5575 ± 80	6006 ± 107**
2	«Устричник-2» [6] 42°47'33.0" с.ш. 131°16'40.1" в.д.	СОАН-5005	235–250	раковины моллюсков	5835 ± 115	6235 ± 141**
3	«Левый берег» [6] 42°47'55.4" с.ш. 131°16'22.3" в.д.	Tka-13011	306–315	раститель-ный детрит	4810 ± 70	5533 ± 72
Долина р. Раздольной, лагунно-морские отложения						
4	«Скв. Раздолье» 43°32'47.3" с.ш. 131°51'43.5" в.д.	PLD-12623	1200–1255	фрагменты древесины	6000 ± 35	6845 ± 45
Долина р. Рязановка, болотные отложения						
5	«Дорога» [6] 42°48'22.4" с.ш. 131°15'44.1" в.д.	СОАН-5000	224–231	торф	5150 ± 50	5881 ± 85
6	«Правый берег-99» [6] 42°47'57.6" с.ш. 131°16'12.2" в.д.	СОАН-4144	215–220	торф	4550 ± 55	5198 ± 107
7		СОАН-4145	245–250	торф	5625 ± 160	6446 ± 167
8	«Правый берег» [6] 42°47'56.9" с.ш. 131°16'12.2" в.д.	СОАН-3938	190–200	торф	5125 ± 45	5851 ± 70
9	«Пб-10» 42°47'55.3" с.ш., 131°16'13.3" в.д.	СОАН-5011	230–234	торф	4465 ± 35	5139 ± 109
10		СОАН-5012	236–238	торф	4470 ± 60	5124 ± 125
11		СОАН-5013	242–244	торф	4625 ± 65	5338 ± 114
12		СОАН-5014	250–252	торф	4840 ± 55	5567 ± 66
13		СОАН-5015	258–260	торф	4940 ± 60	5687 ± 61
14		СОАН-5016	264–266	торф	5000 ± 100	5762 ± 108
15		СОАН-5017А	266–268	торф	5150 ± 25	5920 ± 12
16		СОАН-5017	268–272	торф	5250 ± 45	6041 ± 82
17	«Пб-5» [6] 42°47'53.2" с.ш. 131°16'17.8" в.д.	СОАН-5008	210–215	торф	4295 ± 70	4861 ± 107
18		СОАН-5009	235–240	торф	5325 ± 80	6112 ± 99
19	«Пб-3» [6] 42°47'51.1" с.ш. 131°16'21.9" в.д.	СОАН-4993	222–230	торф	4900 ± 70	5659 ± 62
долина р. Рязановка, озёрно-лагунные отложения						
20	«Дорога-2» [6] 42°48'22.4" с.ш. 131°15'44.1" в.д.	СОАН-4995	220	древесина	4560 ± 35	5205 ± 104
21	«Правый берег 036» [6] 42°48'21.9" с.ш. 131°15'49.4" в.д.	СОАН-6171	350	древесина	4740 ± 90	5462 ± 105
о. Русский, болотные отложения						
22	«Поспелово» [8] 43°03'32.3" с.ш. 131°53'16.8" в.д.	СОАН-7675	240–245	торф	5355 ± 85	6137 ± 108
23		СОАН-7674	220–225	торф	5105 ± 75	5841 ± 82
24		СОАН-7673	200–205	торф	4750 ± 80	5467 ± 102
25		СОАН-7672	185–190	торф	4725 ± 80	5457 ± 101
26	«Подножье-I» 43°02'46.1" с.ш. 131°49'01.0" в.д.	ЛУ-7613	111–112	торф	3820 ± 80	4232 ± 125
27		ЛУ-7612	129–143	палеопочва	5820 ± 130	6640 ± 150

Примечание. *Калибровка дат выполнена в программе CalPal (http://www.calpal-online.de).
**Даты по образцам морского генезиса не калиброваны и указаны только с поправкой на эффект резервуара [6].

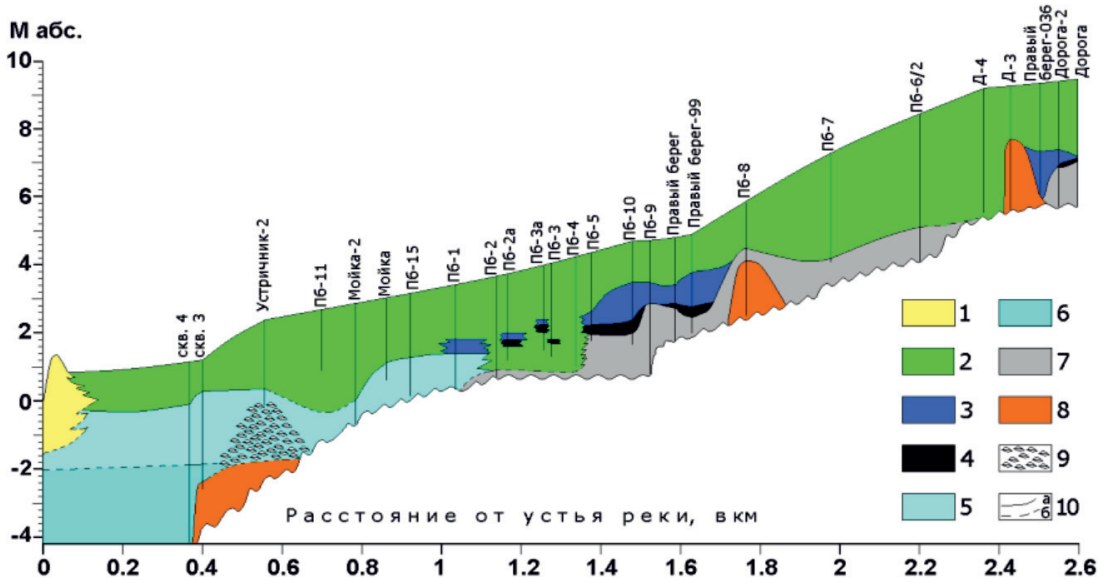


Рис. 3. Разрез голоценовых отложений низкой аккумулятивной террасы на правом берегу р. Рязановка. Современные отложения: 1 – морские волноприбойные. Отложения суббореального и субатлантического периодов голоцена: 2 – аллювиальные и болотные. Отложения ПАТ: 3 – озёрно-лагунные, 4 – болотные, 5 – лагунно-морские. Отложения средней фазы атлантического периода голоцена: 6 – лагунно-морские. Отложения верхнего плейстоцена: 7 – озёрные (12240 ± 160 л.н. / 14400 ± 390 к.л.н., Tka-13007), 8 – пролювиальные и элювиальные. 9 – скопления раковин тихоокеанской устрицы (Crassostrea gigas), 10 – литологические границы: а – установленные, б – предполагаемые

Рис. 4. Обнажение террасы в районе разреза «Пб-10»

На спорово-пыльцевой диаграмме (представлены результаты изучения только торфяных отложений, в интервале 230–272 см) выделяются следующие СПК (рис. 5).

1. Нижний горизонт, на глубине 264–272 см, содержит комплекс Пб-10-1, отражающий распространение дубово-грабовых лесов и небольшую роль хвойно-широколиственной растительности. Комплекс формировался при оптимальных климатических условиях ПАТ. В его общем составе почти равное участие принимает пыльца древесных пород (41–54 %) и травянистых растений (39–50 %), что свидетельствует о близком соотношении площадей лесопокрытых и открытых территорий в бассейне р. Рязановка. Среди пыльцы деревьев и кустарников преобладают широколиственные породы с первенством дуба (27–32 %) и большим содержанием граба (9–12 %). Пыльца других широколиственных пород чаще представлена ильмом (5–8 %) и орехом (4–6 %), реже лещиной (до 3 %), липой, ясенем и сиренью (до 2 %). Изредка отмечаются бархат и аралиевые (< 1 %). Мелколиственные деревья в большей степени образованы ольхой (20–31 %), чем берёзами (4–6 %). Пыльца хвойных пород представлена кедром (6–11 %) и незначительной долей пихты, ели и сосны (в сумме до 2 %). Среди пыльцы трав много осоковых (67–76 %), намного меньше разнотравья (13–17 %) и полыни (6–15 %). Споры образованы папоротниками *Polypodiaceae* (до 82 %) и *Osmunda* (до 22 %).

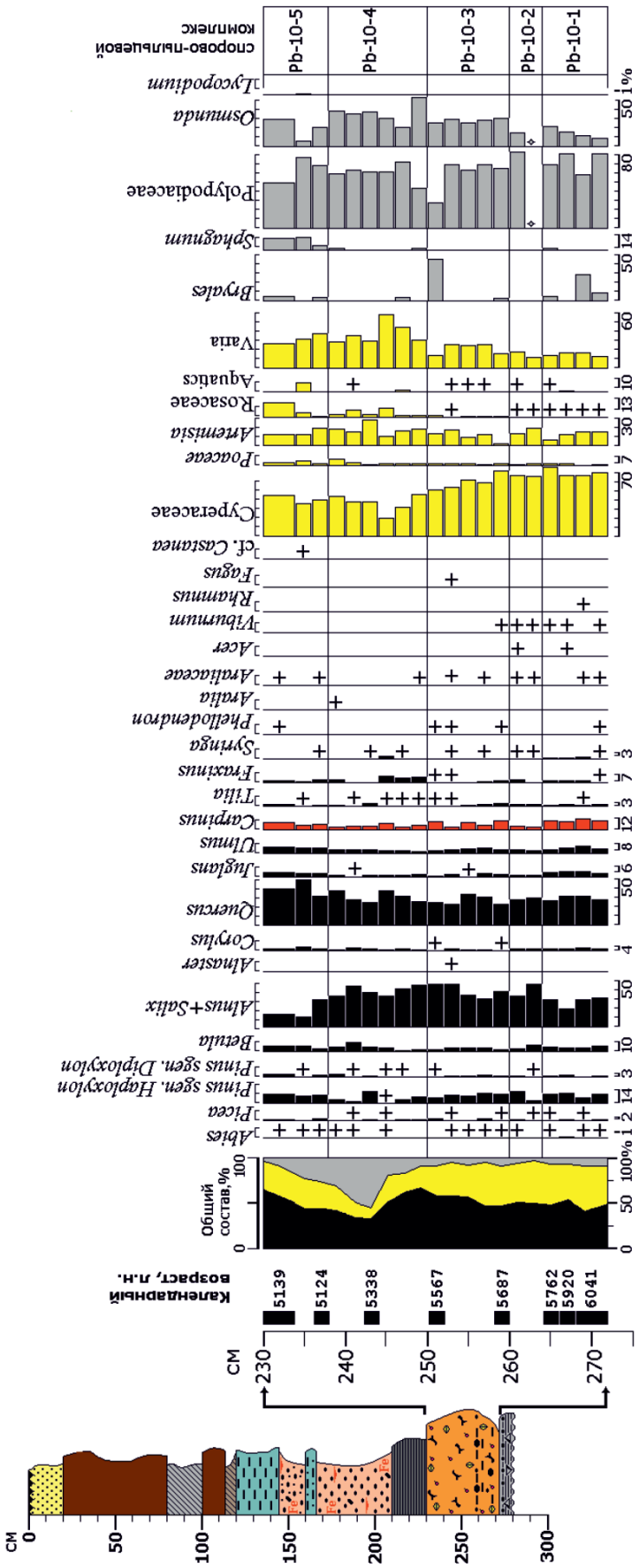


Рис. 5. Спорово-пыльцевая диаграмма отложений разреза «П6-10».
Условные обозначения см. на рис. 2

2. Маломощный горизонт торфа в интервале 260–264 см заключает СПК Пб-10-2. Он отвечает распространению широколиственных лесов с преобладанием дуба и небольшому участию хвойно-широколиственной растительности, развивавшихся при относительном похолодании климата. Среди пыльцы широколиственных пород, при сохранении прежнего значения дуба (28–30 %), происходит резкое, в 3 раза, падение роли граба (3–4 %) и сирени (< 1 %). Также, до двух раз, уменьшается участие ильма (до 3–4 %) и ореха (2–3 %). Мелколиственные деревья по-прежнему чаще представлены ольхой (35–47 %), чем берёзами (до 7 %). Хвойные породы сохраняют прежнее значение, как и преимущество кедра (3–14 %), которое существенно ниже, чем в субфоссильных спектрах (26 %).

3. Слой торфа на глубине 250–260 см содержит СПК Пб-10-3, отразивший распространение широколиственных лесов с преобладанием дуба и большим участием граба, а также присутствие хвойно-широколиственных ассоциаций. Их развитие происходило в условиях намного теплее и влажнее современных, но уступавших оптимуму ПАТ. В общем составе комплекса наметилось усиление роли пыльцы древесных пород (48–57 %) над травами (35–44 %), свидетельствующее об увеличении площади лесопокрытых территорий. В группе пыльцы деревьев и кустарников основные изменения коснулись широколиственных пород. Позиции первенствующего среди них дуба несколько ослабли (с 31–34 % в нижней части слоя до 23–25 % – в верхней), а граба, напротив, укрепились до 8–10 %. В меньшей степени возросло содержание ильма (до 6 %), ореха (до 4 %) и липы (до 3 %). В группе пыльцы трав сократилось участие осоковых (51–74 %) и увеличилось – разнотравья (до 25–26 %). Среди спор, на фоне преобладания папоротников *Polypodiaceae* (28–70 %), до 30 % усиливается содержание папоротника *Osmunda*.

4. Торфяные отложения в интервале 238–250 см имеют СПК Пб-10-4, отвечающий широколиственным лесам с преобладанием дуба и хвойно-широколиственной растительности, до минимума сократившейся в горах территории. Их развитие протекало в условиях очередного, более продолжительного относительного похолодания, близкого к современному климату. В общем составе комплекса до 62–66 % возрастает участие древесных пород, что говорит о наибольшей облесённости территории. Среди пыльцы широколиственных пород усиливается роль дуба (25–38 %), и резко, в 1,5–3,4 раза (до 3–5 %; 6,7 % – только в одной пробе), снижается участие термофильного граба. Уменьшается также встречаемость ильма (до 2–4 %), ореха (1–3 %) и липы, при этом чаще фиксируются ясень (до 6–7 %), сирень и лещина (до 3 %). Участие пыльцы хвойных пород снижается до минимума. Преобладающий среди них кедр начинает встречаться в среднем в 2,5 раза реже (около 4 %), чем во время предыдущего события. В группе пыльцы трав произошло заметное ослабление роли осоковых (20–46 %) и возрастание разнотравья (28–59 %), полыни (10–27 %) и розоцветных (2–10 %). Споры отмечают дальнейший рост участия папоротника *Osmunda* (21–54 %).

5. Поверхностный горизонт (230–238 см) торфа заключает СПК Пб-10-5, отразивший развитие широколиственных лесов с преобладанием дуба и большим участием граба, а также восстановление прежней, небольшой роли хвойно-широколиственных сообществ. Они формировались в условиях теплее современного климата, но уступавших оптимальным условиям начала ПАТ. Среди пыльцы древесных пород, первенствующей в комплексе, лидируют широколиственные деревья (53–72 %). Содержание многих из них, по сравнению с предыдущим событием, повышается: дуба – до 32–50 %, граба – до 5–8 %, ореха – до 4–5 %, ильма – до 6–7 % и лещины – до 2–4 %. Возрастает и количество пыльцы хвойных пород (кедра) – до 10 %. В группе трав увеличивается значение розоцветных (до 13 %) и водных растений (до 10 %). Среди спор, на фоне преобладания папоротников *Polypodiaceae* (49–77 %), ослабевает роль *Osmunda* (6–29 %) и укрепляется – сфагновых мхов (5–14 %).

Для установления хронологии обнаруженных палеоклиматических событий проведено детальное радиоуглеродное датирование отложений. По образцам торфа была получена серия из 8 радиоуглеродных дат от 5325 л.н – в основании, до 4465 л.н. – в кровле слоя (таблица, № 9–16). Сравнение возраста верхнего горизонта торфа и перекрывающего его слоя озёрно-лагунных глин (№ 20, 21), показало, что нижележащие отложения моложе вышележащих на 90–275 лет. В соседних разрезах – «Правый берег-99» и «Пб-5» (рис. 3) – омоложение составляет соответственно 100–190 и 265–475 лет

(№ 6, 17). Омоложение дат полученных по торфу, в отличие от древесных остатков, как доказано для болотных отложений Камчатки [15], может достигать 1–2 тысяч лет и вызываться, возможно, их длительной обводнённостью. Проявление этого эффекта позволяет сомневаться в корректности датировок не только верхнего, но и всех горизонтов слоя торфа в разрезе «Пб-10». Подтверждением этому служит явное несоответствие радиоуглеродного возраста (5250–5000 л.н. – № 14–16) и термофильных спектров нижнего горизонта торфа, для которых ранее была получена дата около 5600 л.н. (№ 7). Поэтому для установления более точной хронологии событий использован расчёт возраста по скорости осадконакопления. Начало торфонакопления в разрезе «Пб-10» отнесено к 5800 л.н. (как установлено датированием оптимума ПАТ на Русском острове), окончание, согласно более древней дате по древесине из озёрно-лагунных осадков – к 4800 л.н. Средняя скорость торфонакопления, таким образом, составила 0,42 мм/год. Основываясь на ней, получаем следующие хронологические рамки обнаруженных событий: оптимальное потепление (СПК Пб-10-1) – 5800–5600 л.н., второе относительное похолодание – 5600–5500 л.н. (СПК Пб-10-2), первое относительное потепление (СПК Пб-10-3) – 5500–5250 л.н., третье относительное похолодание – 5250–5000 л.н. (СПК Пб-10-4), второе относительное потепление (СПК Пб-10-5) – 5000–4800 л.н.

В долине р. Раздольной, на её правом берегу, ниже автомобильного моста у одноимённого посёлка изучены лагунно-морские осадки, вскрытые разрезом «Скв. Раздолье» (43 °32'47.3" с.ш., 131 °51'43.5" в.д.). Основание разреза, представленное на глубине 12–12.55 м текучепластичными алевритами синевато-чёрного цвета, содержит СПК Rzd-1, имеющий почти полное сходство с СПК I-3, описанным из «Скв. 3» в интервале 170–200 см [6]. В общем составе комплекса преобладает пыльца деревьев и кустарников (62–64 %). Среди неё господствуют широколиственные породы с первенством дуба (30–36 %). Реже встречена пыльца ильма (13–14 %), ореха (3–9 %), граба (3–5 %), лещины (2–5 %), сирени, липы и ясеня (до 2 %). Присутствуют также бархат (*Phellodendron*), виноград, калина и аралиевые (< 1 %). Мелколиственные породы, имеющие меньшую долю в комплексе, образованы пыльцой берёз (8–14 %), преобладающих над ольхой. Хвойные деревья представлены небольшим количеством пыльцы кедра корейского (7–13 %), ели, пихты и сосны (в сумме 4–5 %). СПК Rzd-1 отразил распространение широколиственных лесов с первенством дуба и небольшое развитие хвойно-широколиственных ассоциаций в горах, прилегающих к долине р. Раздольной. Комплекс зафиксировал относительное похолодание климата в начале ПАТ около 6000 л.н. / 6800 к.л.н. (таблица, № 4).

Заключение

В результате изучения новых разрезов голоценовых отложений континентальной и островной частей южного Приморья, а также исследованных ранее [6, 8], наиболее полная картина ландшафтно-климатических изменений ПАТ выглядит следующим образом.

В *начале фазы*, около 6000–5800 л.н. / 6800–6600 к.л.н., происходило относительное похолодание, с параметрами, близкими к современному климату. В нижнем растительном ярусе территории преобладали многопородные широколиственные леса с преимуществом дуба. Хвойно-широколиственные леса имели небольшое распространение в горах. Вторая половина фазы, около 5800–5600 л.н. / 6600–6400 к.л.н., ознаменовалась оптимальным потеплением, достигавшим, возможно, максимального уровня в голоцене. В растительности преобладали дубово-грабовые леса, причём на островах участие граба в них было выше, чем на континентальной части южного Приморья. Климатические условия, возможно, были близки к современным на Корейском полуострове к югу от 39 с.ш. (среднегодовые температуры 10–12 °С °, суммы осадков 1100–1600 мм), где растут дубово-широколиственные леса с различными видами граба, настоящий бамбук, магнолия и бензойное дерево. На завершении начальной стадии, около 5600–5500 л.н. / 6400–6300 к.л.н., произошло второе относительное похолодание ПАТ, зафиксированное выпадением граба, в меньшей степени ильма и ореха, из состава широколиственных лесов.

Середина фазы имела два события примерно равной продолжительности. Около 5500–5250 л.н. / 6300–6050 к.л.н. развивалось потепление с климатическими условиями прохладнее оптимальных, но существенно выше современных. В растительности вновь стали доминировать широколиствен-

ные леса с преобладанием дуба и большим участием граба, чаще встречавшихся на островах. Затем, около 5250–5000 л.н. / 6050–5800 к.л.н., стало развиваться третье, наиболее продолжительное, относительное похолодание. В широколиственных лесах резко упала роль граба и до минимума сократилось участие хвойно-широколиственных ассоциаций в горах.

Завершающая часть фазы началась со второго относительного потепления, происходившего около 5000–4800 л.н. / 5800–5500 к.л.н. Его уровень, вероятно, превышал теплообеспеченность прежнего аналогичного термохрона, так как на островах в это время развивались дубово-грабовые леса [8]. На континентальной части росли широколиственные леса с преобладанием дуба и большой ролью граба. В горах сохранялись хвойно-широколиственные леса. Последнее событие, около 4800–4600 л.н. / 5500–5300 к.л.н., ознаменовалось появлением настоящих полидоминантных широколиственных лесов с близким участием дуба, ореха, ильма, граба, липы и сирени [6]. В горах хвойно-широколиственные леса укрепились и заняли позиции, сходные с их нынешним положением. Климат оставался теплее современного, хоть и прохладней, чем в начале завершающей части фазы. Влажность, возможно, превышала уровень всех палеоклиматических событий ПАТ.

Авторы выражают искреннюю благодарность А.Н. Попову, директору учебно-научного музея ДВФУ, за большую помощь в проведении полевых работ.

Список литературы / References

1. Хотинский Н.А. Радиоуглеродная хронология и корреляция природных и антропогенных рубежей голоцена // Новые данные по геохронологии четвертичного периода. К XII конгрессу ИНКВА (Канада, 1987 г.). М.: Наука, 1987. С. 39–45.

Khotinsky N.A. Radiocarbon chronology and correlation of natural and anthropogenic boundaries of the Holocene // Novy`e danny`e po geoxronologii chetvertichnogo perioda. K XII kongressu INKVA (Kanada, 1987 g.). M.: Nauka, 1987. P. 39–45 (in Russian).

2. Борисова О.К. Ландшафтно-климатические изменения в голоцене // Известия РАН. Серия географическая. 2014. № 2. С. 5–20.

Borisova O.K. Landscape and climate changes in the Holocene // Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya. 2014. № 2. P. 5–20 (in Russian).

3. Razjigaeva, N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., Belyanina N.I., Mokhova L.M., Arslanov K.A., Chernov S.B. Holocene Climatic Changes and Vegetation Development in the Kuril Islands. Quaternary International. 2013. № 290–291. P. 126–138. DOI: 10.1016/j.quant.2012.06.034.

4. Igarashi Y. Holocene vegetation and climate on Hokkaido Island, northern Japan. Quaternary International. 2013. № 290-291. P. 139–150. DOI: 10.1016/j.quant.2012.09.030.

5. Короткий А.М. Палинологические характеристики и радиоуглеродные датировки верхнечетвертичных отложений Российского Дальнего Востока (низовье р. Амур, Приморье, о. Сахалин, Курильские острова) // Позднечетвертичные растительность и климаты Сибири и Дальнего Востока (палинологическая и радиоуглеродная база данных). Магадан: Изд-во Сев.-Вост. науч. центра ДВО РАН, 2002. С. 257–369.

Korotky A.M., 2002. Pollen characteristics and radiocarbon dates of Last Quaternary deposits of Russian Far East (Lower Amur valley, Primorye, Sakhalin Island, Kuril Islands) // Pozdnechetvertichny`e rastitel`nost` i klimaty` Sibiri i Dal`nego Vostoka (palinologicheskaya i radiouglerodnaya baza danny`x). Magadan: Izd-vo Sev.-Vost. nauch. centra DVO RAN, 2002. P. 257–369 (in Russian).

6. Микишин Ю.А., Петренко Т.И., Гвоздева И.Г., Попов А.Н., Кузьмин Я.В., Горбаренко С.А., Раков В.А. Голоцен побережья юго-западного Приморья // Научное обозрение. 2008. № 1. С. 8–27.

Mikishin Yu.A., Petrenko T.I., Gvozdeva I.G., Popov A.N., Kuzmin Y.V., Gorbarenko S.A., Rakov V.A. Holocene coast of southwestern Primorye // Nauchnoe obozrenie. 2008. № 1. P. 8–27 (in Russian).

7. Микишин Ю.А., Петренко Т.И., Гвоздева И.Г. Ландшафтно-климатические изменения в голоцене южного Приморья // VIII Всероссийское совещание по изучению четвертичного периода: «Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований» (г. Ростов-на-Дону, 10–15 июня 2013 г.). Сб. статей. Ростов н/Д.: Изд. ЮНЦ РАН, 2013. С. 443–445.

Mikishin Yu.A., Petrenko T.I., Gvozdeva I.G. Landscape and climate changes in the Holocene of southern Primorye // VIII Vserossijskoe soveshhanie po izucheniyu chetvertichnogo perioda: «Fundamental`ny`e problemy` kvartera, itogi izucheniya i osnovny`e napravleniya dal`nejshix issledovanij» (g. Rostov-na-Donu, 10–15 iyunya 2013 g.). Sb. statej. Rostov n/D.: Izd. YuNCz RAN, 2013. P. 443–445 (in Russian).

8. Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г. Палеосреда о. Русский (южное Приморье) в среднем-позднем голоцене // Фундаментальные исследования. 2014. № 3-3. С. 516–522.

Mikishin Yu.A., Gvozdeva I.G. Mid to Late Holocene of Russkyi Island (southern Primorye) // Fundamental research. 2014. № 3-3. P. 516–522 (in Russian).

9. Белянин П.С. Развитие геосистемы бассейна р. Бикин (Дальний Восток) в среднем и позднем голоцене // География и природные ресурсы. 2013. № 1. С. 105–111.

Belyanin P.S. Development of the geosystem of the river basin Bikin (Far East) in the Middle and Late Holocene // Geografiya i prirodny`e resursy`. 2013. № 1. P. 105–111 (in Russian).

10. Лящевская М.С. Ландшафтно-климатические изменения на островах залива Петра Великого (Японское море) за последние 20000 лет // Успехи современного естествознания. 2016. № 11–2. С. 372–379.

Lyashchevskaya M.S. Landscape and climate changes on the islands of Peter the Great Bay (Sea of Japan) over the past 20000 years // Advances in current natural sciences. 2016. № 11–2. P. 372–379 (in Russian).

11. Лящевская М.С., Макарова Т.Р., Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Кудрявцева Е.П., Паничев А.М., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е. Развитие ландшафтов полуострова Муравьёва-Амурского в среднем-позднем голоцене по данным изучения отложений побережья бухты Муравьиной (Южное Приморье) // Успехи современного естествознания. 2017. № 2. С. 110–122.

Lyashchevskaya M.S., Makarova T.R., Razzhigaeva N.G., Ganzey L.A., Kudryavtseva E.P., Panichev A.M., Arslanov H.A., Maksimov F.E. The development of landscapes of the Muravyavyev-Amursky Peninsula in the Middle-Late Holocene according to the study of sediments of the coast of Muravyina Bay (Southern Primorye) // Advances in current natural sciences. 2017. № 2. P. 110–122 (in Russian).

12. Андерсон П.М., Белянин П.С., Белянина Н.И., Ложкин А.В. Эволюция растительного покрова западного по-

бережья зал. Петра Великого в позднем плейстоцене-голоцене // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 36. № 4. С. 99–108.

Anderson P.M., Belyanin P.S., Belyanina N.I., Lozhkin A.V. Evolution of vegetation cover of the west coast Peter the Great bay in the Late Pleistocene-Holocene // Tixookeanskaya geologiya. 2017. T. 36. № 4. P. 99–108 (in Russian).

13. Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г., Петренко Т.И. Спорово-пыльцевые спектры современных отложений побережья юго-западного Приморья // Методические аспекты палинологии: Матер. X Всерос. палинологической конф. М.: ИГиРГИ, 2002. С. 154–156.

Mikishin Yu.A., Gvozdeva I.G., Petrenko T.I. Spore-pollen spectra of modern sediments of the coast of southwestern Primorye // Metodicheskie aspekty` palinologii: Mater. X Vseros. palinologicheskoj konf. M: IGiRGI, 2002. P. 154–156 (in Russian).

14. Караулова Л.П., Короткий А.М., Гвоздева И.Г. Пространственно-временная эволюция растительных сообществ голоцена на территории Приморья // Палинологические исследования на Дальнем Востоке. Матер. II межведомств. семинара по палинологическим исслед. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1978. С. 91–100.

Karaulova L.P., Korotky A.M., Gvozdeva I.G. Spatio-temporal evolution of Holocene plant communities in Primorye // Palinologicheskie issledovaniya na Dal`nem Vostoke. Mater. II mezhvedomstv. seminara po palinologicheskim issled. Vladivostok: DVNCz AN SSSR, 1978. P. 91–100 (in Russian).

15. Певзнер М.М. Голоценовый вулканизм Срединного хребта Камчатки. М.: ГЕОС, 2015. 246 с.

Pevzner M.M. Holocene volcanism of the Middle Ridge of Kamchatka. M.: GEOS, 2015. 246 p. (in Russian).

УДК 552.321.6:550.93(571.52)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ И ВЕЩЕСТВЕННОМ СОСТАВЕ КАРА-ОССКОГО ПЕРИДОТИТ-ПИРОКСЕНИТ-ГАББРОНОРИТОВОГО МАССИВА (ТУВА)

Монгуш А.А.

ФГБУН «Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов» СО РАН, Кызыл, e-mail: amongush@inbox.ru

Возраст Кара-Осского массива составляет 437,2 ± 4,2 млн л. (по амфиболу из вебстерита М-47-98). Этот возраст не намного меньше Ar-Ar возраста, расположенного в 45 км к юго-востоку Шуйского габброидного массива – 449 ± 4,2 млн л. Более ранние исследования показали, что около 450 млн лет назад при участии повышенного теплового потока, связанного с внедрением мантийных расплавов, шло масштабное формирование кислых расплавов, запечатавших в позднем ордовике Каахемский полихронный батолит. Вместе с тем полученная нами датировка свидетельствует об активности мантийного магматизма не только в позднем ордовике, но и в раннем силуре тоже. Однако отсутствие масштабных проявлений раннесилурийского магматизма на территории Тувы указывает на локальный характер магматизма в это время. Вероятно, образование Кара-Осского перидотит-габбрового массива было связано с тектонической активизацией Каахемского рифта, в пределах которого расположен данный массив. Геохимические и изотопные данные для раннесилурийского Кара-Осского массива указывают на присутствие в его мантийном источнике определенной доли как обогащенного, так и деплетированного мантийного источника, при этом последний мог быть модифицирован надсубдукционными флюидами. Для образца М-47-98 значения параметра εNd(T) = +3.0, что является отражением более высокой доли обогащенной радиогенным Nd мантии, поставщиком которой, вероятнее всего, был мантийный плюм. Однако причиной плавления мантийных источников скорее всего являлся не плюм, поскольку ранний силур Тувы почти амагматичен, а декомпрессия, обусловлена трансформно-сдвиговой деформацией Каахемского рифта в раннем силуре.

Ключевые слова: пироксениты, габброиды, Ar-Ar возраст, геохимия, мантийный магматизм, Тува

NEW DATA ON THE AGE AND MATERIAL COMPOSITION OF THE KARA-OS PERIDOTITE-PYROXENITE-GABBRONORITE MASSIF (TUVA)

Mongush A.A.

Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of the Siberian Branch of the RAS, Kyzyl, e-mail: amongush@inbox.ru

Ar-Ar age of the Kara-Os massif is 437.2 ± 4.2 Ma (amphibole of websterite M-47-98). This age is not much younger than the age of the Shui gabbroid massif located 45 km to the Southeast – 449 ± 4.2 Ma. Earlier studies showed that about 450 Ma with the participation of increased heat flow associated with the introduction of mantle melts, there was a large-scale formation of acid melts, sealed in the O_3 Kaachem polychronous batholith. At the same time, the dating obtained by us testifies to the activity of mantle magmatism not only in the O_3, but also in the S_1. However, the absence of large-scale manifestations of S_1 magmatism on the territory of Tuva indicates the local nature of magmatism at this time. Probably, the formation of the Kara-Os massif was associated with the tectonic activation of the Kaachem rift, within which the massif is located. Geochemical and isotopic data for the Kara-Os massif indicate the presence in its mantle source of a certain proportion of both enriched and depleted mantle source, while the latter could be modified by suprasubduction fluids. The sample M-47-98 is εNd (T) = + 3.0, which is a reflection of a higher proportion of the radiogenic Nd-enriched mantle, the supplier of which was most likely the mantle plume. However, the reason for the melting of mantle sources was most likely not the plume, since the S_1 of Tuva is almost amagmatic, but the decompression caused by the transform-shear deformation of the Kaakhem rift in the Early Silurian.

Keywords: pyroxenites, gabbroids, Ar-Ar age, geochemistry, mantle magmatism, Tuva

На территории Тувы широко распространены перидотит-габбровые массивы разного возраста и геодинамической позиции, которые, как оказалось, могут не иметь значимых различий в вещественном составе. Например, островодужный Ирбитейский массив – 539 ± 6 млн л. [1], синколлизионные Калбакдагский – 486 ± 6,4 млн л. [2], Мажалыкский – 478 ± 1,4 млн л. [3] и Булкинский – 465 ± 5 млн л. [4] массивы, постколлизионный Шуйский массив – 449 ± 4,2 млн л. [5] – все они характеризуются надсубдукционными геохимическими характеристиками (Ta-Nb отрицательные аномалии на спайдерограммах) и низкими в целом концентрациями несовместимых элементов. Это объясняют тем, что в случае постостроводужных массивов процесс субдукции уже прекратился, однако геохимические особенности мантии остались прежними, а значит, образовавшиеся в этих условиях расплавы наследовали геохимические особенности, характерные для островодужных пород [4]. Предполагается, что геохимическое сходство с островодужными образованиями может быть обусловлено вовлечением в процессы плавления метасоматизированного надсубдукционного

мантийного клина под влиянием плюмового источника [3]. Выявление вещественного вклада плюма в родоначальный расплав является сложной задачей, поэтому только определение возраста перидотит-габбровых массивов дает возможность соотнести их формирование с тектонической историей региона и оценить таким образом геодинамические условия их образования.

Цель работы: выявление возраста Кара-Осского перидотит-пироксенит-габброноритового массива, уточнение особенностей его вещественного состава и оценка геодинамических условий его образования.

Материалы и методы исследования

В пределах этого массива отобрано и изучено под петрографическим микроскопом 25 образцов. Петрохимические данные получены методом РФА в ИГМ СО РАН. Содержания микроэлементов определялись методом ICP-MS в ИГМ СО РАН. Изотопные составы Sm и Nd были измерены П.А. Серовым в ГИ КНЦ РАН на масс-спектрометре Finnigan-MAT 262 (RPQ). Геохронологические $^{40}Ar/^{39}Ar$ исследования возраста данного массива проведены в ИГМ СО РАН А.В. Травиным.

Расположение и геологическое строение массива. Кара-Осский массив, расположенный в 90 км на восток-северо-восток от г. Кызыл, является составной частью структурно-вещественных комплексов Каахемской подзоны Восточно-Тувинской задуговой зоны Таннуольско-Хамсаринской островодужной системы ранних каледонид [1]. Комплексы Каахемской подзоны представлены осадочно-вулканогенной харальской свитой и задуговыми офиолитами [6, 7]. Кара-Осский интрузивный массив, являясь полигенным, включает в себя, по данным ГС-50000 П.Ф. Ковалева, монцодиориты зубовского комплекса (возраст петротипного Зубовского массива 512 ± 2 млн л. [8, 9]), габбро-гранитоидная серия [10], возраст плагиогранитов которых составляет 490 ± 3 млн л. [8, 9]), а также, в центральной части массива, перидотит-пироксенит-габброноритовый комплекс, являющийся объектом нашего исследования. Последний далее нами называется Кара-Осским перидотит-пироксенит-габброноритовым массивом, который является составной частью одноименного полигенного интрузивного ареала.

Коренные выходы Кара-Осского перидотит-габбрового массива приурочены к осевой части водораздельной гряды между двумя ручьями в истоках р. Малое Копто, а также к водоразделу Малое-Копто – Кара-Ос. Этот массив образует вытянутое в восток-северо-восточном направлении тело размерами ~1 км×0,2–0,3 км. Бóльшую часть его составляют габбронориты (рис. 1), как правило массивные, иногда со слабо проявленной трахитоидностью, а также такситовые, обусловленные скоплениями темноцветных минералов размерами до 3–4 см. В северо-восточной части перидотит-пироксенит-габброноритового массива, в скальных выходах водораздельных гряд на перевале Малое Копто – Кара-Ос обнажены чередующиеся участки габброноритов, клинопироксенитов, вебстеритов и их оливиновых разновидностей, а также верлиты. В небольшом количестве представлены также габбро и нориты, редко – ортопироксениты. В строении данного массива также принимают участие, по-видимому, и роговообманково-флогопитовые меланогаббронориты, обнаруженные в крупных делювиальных обломках. Контакты габброидов и окружающих их гранитоидов задернованы.

Петрографические особенности. Габбронориты (Pl – около 40 об.%, Cpx и Opx – примерно по 30 об.%) – наиболее распространенные породы массива. Они достаточно однообразны как по внешнему облику, так и по составу и структуре. Иногда в них наблюдается трахитоидность, обусловленная ориентированным расположением зерен плагиоклаза, совпадающим с направлением трещин и плитчатой отдельности пород. Габбронориты обычно имеют своеобразный цвет, вызванный лилово-розоватой окраской плагиоклаза (андезина). На контактах породообразующих минералов встречается мелкий, до 0,3 мм, флогопит в количестве ~ 1–2 об.%. Плагиоклаз иногда содержит единичные мелкие зерна апатита. Рудные минералы представлены магнетитом и ильменитом (до 5 об.%).

Вебстериты имеют массивную, нередко неравномернозернистую текстуру, средне- и крупнозернистую, панидиоморфную, пойкилитовую структуры. Кристаллы пироксенов характеризуются одинаковым идиоморфизмом, клино- и ортопироксены содержатся в сопоставимых количествах. Клинопироксен в большинстве случаев окружен каймами зеленовато-бурой роговой обманки, ортопироксен частично замещается серпентином и тальком. Реже наблюдаются клино- и ортопироксениты с панидиоморфнозернистой структурой. В интерстициях присутствуют мелкие зерна роговой обманки.

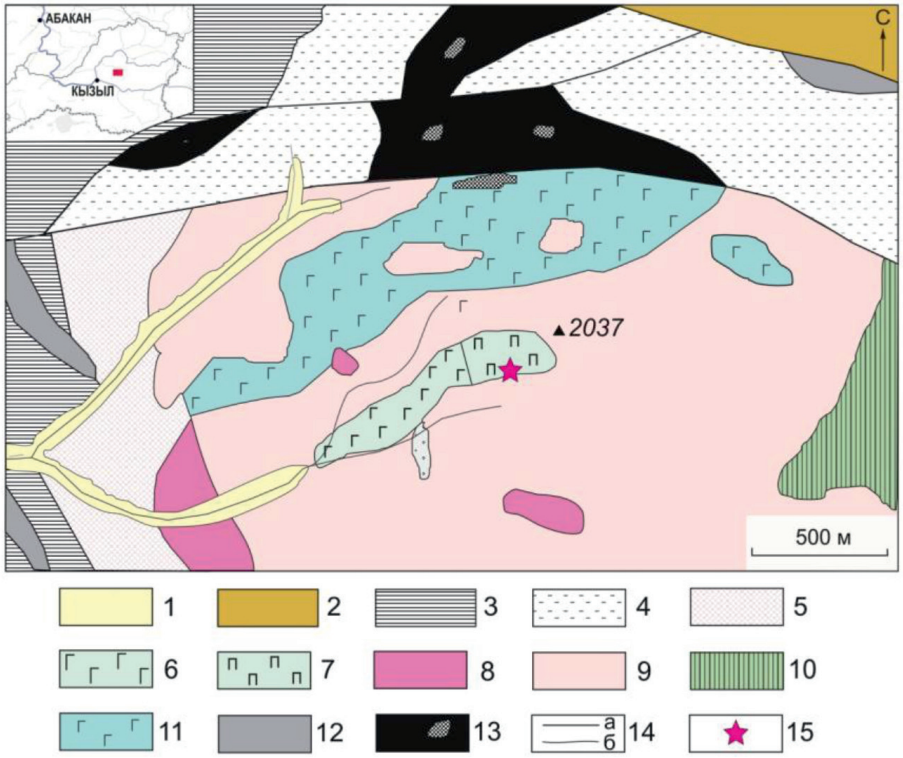


Рис. 1. Схема геологического строения северо-западной части Кара-Осского полигенного интрузивного ареала. 1 – четвертичные отложения; 2 – девонские осадочно-вулканогенные отложения; 3 – нижнекембрийские меланж-олистостромовые образования тапсинской толщи: песчаники, алевролиты, известняки, базальты, кремни, черные сланцы; 4 – венд-нижнекембрийские осадочно-вулканогенные образования харальской свиты: сланцы, метапорфириты, кварциты, мраморизованные известняки; 5 – роговики, ороговикованные породы; 6–11 – Кара-Осский полигенный интрузивный ареал, в том числе раннесилурийский Кара-Осский перидотит-пироксенит-габброноритовый массив (6–7): 6 – габбронориты, 7 – габбронориты, вебстериты, верлиты, роговообманково-флогопитовые меланогабброниты, позднекембрийские (8–10): 8 – аплиты, 9 – диориты, тоналиты, кварцевые диориты, плагиограниты, 490 ± 3 млн л. [8, 9], 10 – габбро, 11 – раннекембрийские монцодиориты зубовского комплекса; 12–13 – офиолиты: 12 – габбро, 13 – гипербазиты с (более поздними?) линзами пироксенитов, 14 – разломы (а) и геологические границы (б); 15 – точка отбора образца М-47-98 для геохронологических исследований

В верлитах оливин на 60% замещен жилковато-петельчатым лизардитом, а также боулингитом, образующим псевдоморфозы. Оливин образует как более крупные зерна, обуславливающие гипидиоморфнозернистую структуру породы, так и пойкилитовые включения в широкопризматических кристаллах пироксенов. В оливине содержатся мелкие зерна хромшпинели.

В роговообманково-флогопитовых меланогаббронитах крупные зерна (до 1,5 см в диаметре) красновато-бурого флогопита создают порфиробластовую структуру этих пород. Эти минералы содержат пойкилитовые включения пироксенов и плагиоклаза, реже оливина. На контактах зерен клино- и ортопироксена развиваются каймы зеленой уралитовой роговой обманки. Плагиоклаз содержит вростки мелких кристаллов клинопироксена. Из акцессорных минералов в этой породе встречаются магнетит, ильменит, апатит, иногда окисленные сульфиды. Видимо, именно эти породы в пределах Кара-Осского полигенного массива были описаны следующим образом: «амфиболизированные грубозернистые разности меланократовых габбро иногда имеют облик метасоматических горнблендитов» [10, с. 118].

Петрогеохимические особенности. Породы Кара-Осского перидотит-пироксенит-габброноритового массива отличаются низкими содержаниями TiO_2, K_2O, P_2O_5 и низким суммарным количеством редкоземельных элементов (РЗЭ) – 4,4–20,4 г/т (табл. 1). Для габброидов характерны выпуклые спектры РЗЭ, обусловленные относительной обогащенностью средних РЗЭ по сравнению с легкими и тяжелыми РЗЭ: La_n/Sm_n = 0,5–1,0, Gd_n/Ybn_n = 1,3–1,4, La_n/Yb_n = 0,6–1,0, повышенные содержания крупноионных литофилов относительно высокозарядных элементов (Ba_n/La_n = 3,7–15,4), отрицательная Nb и положительная Pb и Sr аномалии на нормированных к хондриту и примитивной мантии спектрах (рис. 2).

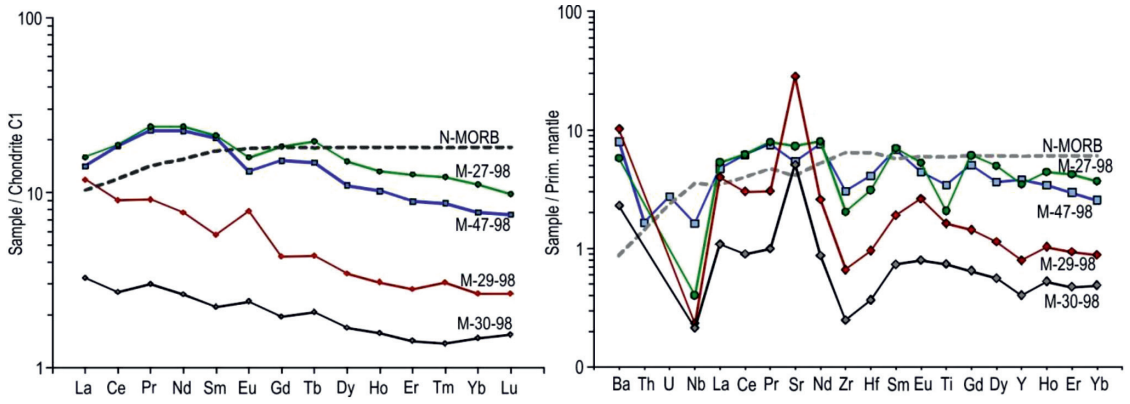


Рис. 2. Нормированные к хондриту C1 и примитивной мантии спектры распределения микроэлементов в породах Кара-Осского массива: М-27-98, М-29-30 – габбронорит, М-30-98 – верлит, М-47-98 – плагиоклаз-роговообманковый вебстерит

Таблица 1

Содержания петрогенных элементов (мас. %) и микроэлементов (г/т) в породах Кара-Осского перидотит-пироксенит-габброноритового массива

№ обр.	М-27-98	М-29-98	М-30-98	М-47-98
Порода	*гн*	*гн*	*вер*	*веб*
1	2	3	4	5
SiO_2	51,92	49,48	43,52	50,38
TiO_2	0,45	0,35	0,16	0,74
Al_2O_3	4,96	16,78	1,02	5,32
Fe_2O_3	10,89	8,76	15,01	8,13
MnO	0,22	0,17	0,23	0,16
MgO	15,56	9,61	35,48	15,96
CaO	14,41	11,83	3,31	16,88
Na_2O	1,00	1,34	0,08	0,87
K_2O	0,13	0,00	0,00	0,21
P_2O_5	0,00	0,00	0,00	0,04
П.п.п.	0,44	0,86	0,30	1,34
Сумма	99,99	99,50	99,50	100,03
Rb	0,75	0,57	0,41	1,93
Ba	41,65	73,08	16,63	57,47
Th	–	–	–	0,15
U	–	–	–	0,06
Nb	0,30	0,17	0,16	1,20
Ta	0,04	0,02	0,03	<0,1
La	3,88	2,89	0,79	3,44

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
Ce	11,75	5,71	1,70	11,62
Pr	2,21	0,85	0,28	2,10
Sr	160,4	615,2	111,9	118,7
Nd	11,25	3,62	1,23	10,60
Zr	23,55	7,64	2,87	35,08
Hf	0,99	0,31	0,12	1,30
Sm	3,23	0,87	0,34	3,12
Eu	0,91	0,45	0,14	0,76
Gd	3,71	0,87	0,39	3,08
Tb	0,65	0,14	0,07	0,49
Dy	3,79	0,86	0,42	2,77
Y	16,38	3,71	1,89	17,83
Ho	0,74	0,17	0,09	0,57
Er	2,09	0,46	0,23	1,47
Tm	0,31	0,08	0,03	0,22
Yb	1,84	0,44	0,24	1,28
Lu	0,25	0,07	0,04	0,19

Примечания: *гн* – габбронорит, *пл.-р.о.* – плагиоклаз-роговообманковый. Прочерк – элемент не определялся.

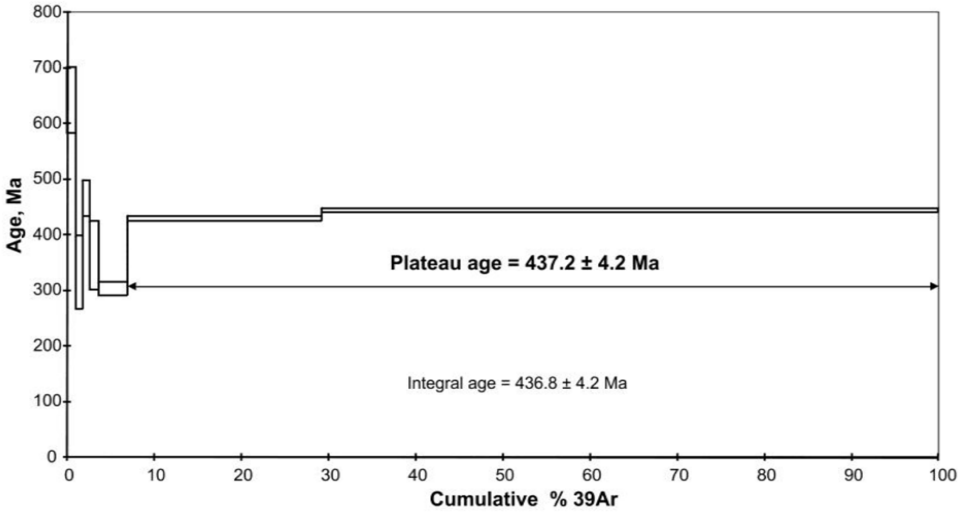


Рис. 3. $^{40}Ar/^{39}Ar$ спектр роговой обманки из плагиоклаз-роговообманкового вебстерита, обр. М-47-98

Изотопно-геохронологические исследования. Для определения возраста пород Кара-Осского перидотит-пироксенит-габбронитового массива $^{40}Ar/^{39}Ar$ методом исследовалась монофракция пойкилитовой роговой обманки из образца М-47-98 плагиоклаз-роговообманкового вебстерита. Образец М-47-98 имеет следующий состав: клинопироксен – 50%, гиперстен – 30%, роговая обманка – 10%, основной плагиоклаз – 10%, единичные знаки магнетита. Текстура породы шлировая, пятнистая, обусловленная обособлением мелкозернистых агрегатов с размерностью зерен < 1 мм клинопироксен-плагиоклазового состава (размер шлиров до 10 мм) и обособлений (тёмных пятен) роговой обманки до 15 мм. Структура неравномернозернистая (размер зерен от 0,2 до 2,0 мм), гипидиоморфнозернистая, паналлотриоморфнозернистая в сочетании с пойкилитовой – ойкокристаллы роговой обманки до 10 мм, хадакристаллы клинопироксена 0,2–0,5 мм.

Таблица 2

Sm-Nd изотопные данные для вебстерита Кара-Осского массива

№ образца	Возраст, млн л.	Sm, мкг/г	Nd, мкг/г	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	Err	$\varepsilon_{Nd}(T)$
М-47-98	437	3,32	11,20	0,179439	0,512742	6	3.0

Согласно полученным данным в возрастном спектре роговой обманки наблюдается устойчивое плато с рассчитанным значением T = 437,2 ± 4,2 млн лет (рис. 3), которое можно принять за возраст кристаллизации вебстерита (обр. М-47-98).

Sm-Nd изотопные исследования. По данным Sm-Nd изотопных исследований, образец М-47-98 характеризуется низким положительным значением параметра εNd(T) = +3.0 (табл. 2).

Результаты исследования и их обсуждение

На нормированных к примитивной мантии спектрах для образцов из Кара-Осского перидотит-пироксенит-габброноритового массива присутствуют отрицательные аномалии Nb, Zr, Hf, Ti, Y и положительные аномалии Ba, Sr (рис. 2), что может свидетельствовать о наличии в мантийных источниках этих пород субдукционного компонента. Этот компонент мог образоваться в поздневендско-раннекембрийскую эпохи субдукции океанической коры в данном сегменте каледонид Тувы и сохраняться в течение продолжительного времени [3, 4, 11], вплоть до выплавления магм, из которых образовались габброиды Кара-Осского массива.

Первично-магматическая природа роговой обманки и довольно устойчивое плато в $^{40}Ar/^{39}Ar$ спектре роговой обманки из образца М-47-98 на уровне 437,2 ± 4,2 млн л. дают основание считать это значение в качестве возраста Кара-Осского перидотит-пироксенит-габброноритового массива. Его возраст является не намного моложе Ar-Ar возраста, расположенного в 45 км к юго-востоку Шуйского габброидного массива – 449 ± 4,2 млн л. [5]. Предполагается, что около 450 млн лет назад при участии повышенного теплового потока, связанного с внедрением мантийных расплавов, шло масштабное формирование кислых расплавов, запечатавших в позднем ордовике Каахемский полихронный батолит [5, 6, 8, 9, 12]. Вместе с тем полученная нами датировка свидетельствует об активности мантийного магматизма не только в позднем ордовике [5, 12, 13], но и в раннем силуре тоже. Однако отсутствие масштабных проявлений раннесилурийского магматизма на территории Тувы [7, 8, 9, 12] указывает на локальный характер магматизма в это время. Раннесилурийский возраст Кара-Осского перидотит-пироксенит-габброноритового массива существенно оторван по времени от крупнейшей кембро-ордовикской (490–460 млн л.) эпохи плюмового магматизма в Центральной Азии [13]. Таким образом, образование этого массива было связано, вероятно, с тектонической активизацией Каахемского рифта, в пределах которого он расположен. О существовании этого рифта свидетельствуют результаты изучения офиолитов Каахемской задуговой подзоны, согласно которым офиолиты были сформированы в ходе спрединговых процессов при расколе субконтинентальной литосферы и формировании рифтогенной структуры на окраине Тувино-Монгольского массива [6, 7].

Реконструкция тектонического режима, расположенного на юго-востоке Тувы Сангиленского фрагмента раннекаледонского орогенного пояса, указывает на его образование в результате косой коллизии Таннуольской островодужной системы и Сибирского континента на фоне смены геодинамических обстановок сжатия (570–490 млн л., коллизионный орогенез) обстановками растяжения (490–430 млн л., трансформно-сдвиговый орогенез) [14]. В Западном Саяне представлены небольшие габбро-гранитные интрузии раннесилурийского возраста, формирование которых происходило в трансформно-сдвиговой обстановке [15]. На основании этих данных мы полагаем, что в аналогичной обстановке происходило образование и Кара-Осского массива.

Для образца М-47-98 Кара-Осского массива, так же как и для габбронорита Шуйского массива с возрастом 449 ± 4,2 млн л., характерны относительно низкие положительные значения параметра εNd(T) = +3,0 и +2,7 [5] соответственно. Как показывают результаты Sm-Nd изотопных исследований габброидных массивов Тувы, чем древнее возраст пород мантийного магматизма, тем выше оказываются значения параметра εNd(T). В частности,

в раннеордовикских габброидах εNd(T) составляет +4,8…+5,7 (Мажалыкский массив [3], в раннекембрийских габброидах – +7,8 (Ирбитейский массив [1]. Приведенные изотопно-геохимические данные показывают, что на постсубдукционном этапе в мантийных источниках магм доля деплетированной мантии, характеризующаяся, в частности, высокими положительными значениями εNd(T), последовательно уменьшалась, а доля обогащенной радиогенным Nd мантии, поставщиком которой, вероятнее всего, был мантийный плюм, наоборот, увеличилась.

Заключение

Уровень накопления и характер распределения редких элементов, относительно пониженное положительное значение параметра εNd(T) в породах S_1 Кара-Осского перидотит-пироксенит-габброноритового массива говорят о том, что в источники его магм включают как обогащенный, так и деплетированный мантийный источники, при этом последний мог быть изменен надсубдукционными флюидами. Причиной плавления этих источников магм скорее всего являлась декомпрессия, обусловленная трансформно-сдвиговой деформацией Каахемского рифта в раннесилурийскую эпоху.

Работа выполнена по государственным заданиям ТувИКОПР СО РАН, при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № 0384-2018-0003), РФФИ (проект № 17-05-00190).

Список литературы / References

1. Монгуш А.А., Лебедев В.И., Ковач В.П., Сальникова Е.Б., Дружкова Е.К., Яковлева С.З., Плоткина Ю.В., Загорная Н.Ю., Травин А.В., Серов П.А. Тектономагматическая эволюция структурно-вещественных комплексов Таннуольской зоны Тувы в позднем венде-раннем кембрии (на основе геохимических, Nd изотопных и геохронологических данных) // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 5. С. 649–665.

Mongush A.A., Lebedev V.I., Kovach V.P., Sal'nikova E.B., Druzhkova E.K., Yakovleva S.Z., Plotkina Yu.V., Zagornaya N.Yu., Travin A.V., Serov P.A. The tectonomagmatic evolution of structure-lithologic complexes in the Tannu-Ola zone, Tuva, in the Late Vendian–Early Cambrian (from geochemical, Nd isotope, and geochronological data). Russian Geology and Geophysics. 2011. vol. 52. no. 5. P. 503–516. DOI: 10.1016/j.rgg.2011.04.003.

2. Леснов Ф.П., Кужугет К.С., Монгуш А.А., Ойдуп Ч.К. Геология, петрология и рудоносность мафит-ультрамафитовых массивов Республики Тыва. Новосибирск: Изд. ГЕО, 2019. 350 с.

Lesnov F.P., Kuzhuget K.S., Mongush A.A., Oidup C.K. Geology, Petrology and ore-bearing of mafic-ultramafic massifs of the Republic of Tyva. Novosibirsk: Izd. GEO, 2019. 350 p. (in Russian).

3. Сальникова Е.Б., Ковач В.П., Козаков И.К., Ойдуп Ч.К., Монгуш А.А., Яковлева С.З., Федосеенко А.М. Возраст и геодинамическая позиция перидотит-пироксенит-анортозит-габбрового мажалыкского комплекса, Восточная Тува // Петрология. 2004. Т. 12. № 6. С. 656–662.

Salnikova E.B., Kovach V.P., Kozakov I.K., Yakovleva S.Z., Fedoseenko A.M., Oidup Ch.K., Mongush A.A. Age and geodynamic setting of the Mazhalyk peridotite-pyroxenite-anorthosite-gabbro complex, Eastern Tuva. Petrology. 2004. vol. 12. no. 6. P. 583–588.

4. Бородина Е.В., Изох А.Э., Монгуш А.А. Булкинский перидотит-габбровый массив (Западный Саян) – синколлизионный тип расслоенных интрузивов // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 3. С. 393–408.

Borodina E.V., Izokh A.E., Mongush A.A. The Bulka peridotite–gabbro intrusion (West Sayan), a syncollisional type of layered intrusions. Russian Geology and Geophysics. 2011. vol. 52. no. 3. P. 307–319. DOI: 10.1016/j.rgg.2011.02.004.

5. Монгуш А.А., Сугоракова А.М. Возраст и источники магм постколлизионных габброидов Каахемского магматического ареала, Восточная Тува: результаты первых 40Ar/39Ar и Sm-Nd исследований // Геохимия. 2013. № 11. С. 1042–1047. DOI: 10.7868/S0016752513110046.

Mongush A.A., Sugorakova A.M. Age and magma sources of the post-collisional gabbroids of the Kaakhem magmatic area, Eastern Tuva: first 40Ar/39Ar and Sm-Nd data. Geochemistry international. 2013. vol. 51. no. 11. P. 939–943. DOI: 10.1134/S0016702913110049.

6. Добрецов Н.Л., Симонов В.А., Буслов М.М, Котляров А.В. Магматизм и геодинамика Палеоазиатского океана на венд-кембрийском этапе его развития // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 9. С. 952–967.

Dobretsov N.L., Simonov V.A., Buslov M.M., Kotlyarov A.V. Magmatism and geodynamics of the Paleoasian ocean at the Vendian-Cambrian stage of its evolution. Russian Geology and Geophysics. 2005. vol. 46. no. 9. P. 933–951.

7. Сугоракова А.М., Бутанаев Ю.В. Каахемская рифтогенная зона (история заложения и развития) // Тувинские землетрясения 2011–2012 гг.: материалы научного совещания 15–17.04.2014 г. Кызыл, Россия. Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2014. С. 83–85.

Sugorakova A.M., Butanaev Yu.V. Kaachem rift zone (history of location and development) // Tuvinskie zemletryaseniya 2011–2012 gg. Materialy nauchnogo Soveshchaniya 15–17.04.2014 g. Kyzyl, Rossiya. Kyzyl: TuvIKOPR SO RAN. 2014. P. 83–85 (in Russian).

8. Руднев С.Н. Раннепалеозойский гранитоидный магматизм Алтае-Саянской складчатой области и Озерной зоны Западной Монголии. Новосибирск: СО РАН, 2013. 300 с.

Rudnev S.N. Early Paleozoic granitoid magmatism in the Altai-Sayan folded area and in the Lake Zone in Western Mongolia. Novosibirsk: SO RAN, 2013. 300 p. (in Russian).

9. Руднев С.Н., Серов П.А., Киселева В.Ю. Венд-раннепалеозойский гранитоидный магматизм Восточной Тувы // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 9. С. 1572–1600. DOI: 10.15372/GiG20150902.

Rudnev S.N., Kiseleva V., Serov P.A. Vendian – Early Paleozoic granitoid magmatism in Eastern Tuva. Russian Geology and Geophysics. 2015. vol. 56. no 9. P. 1232–1255. DOI: 10.1016/j.rgg.2015.08.002.

10. Дистанова А.Н. Строение плутонов и особенности состава раннепалеозойских гранитоидов Каахемского района Восточной Тувы // Магматические комплексы складчатых областей юга Сибири. Новосибирск: Наука, 1981. С. 24–62.

Distanova A.N. Structure of plutons and features of composition of early Paleozoic granitoids of Kaakhem district of Eastern Tuva // Magmatic complexes of folded regions of southern Siberia. Novosibirsk: Nauka, 1981. P. 24–62 (in Russian).

11. Ойдуп Ч.К., Леснов Ф.П., Ярмолюк В.В., Лебедев В.И., Сальникова Е.Б. Ультрамафит-мафитовый магматизм Юго-Западной Тувы // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 3. С. 354–372.

Oidup C.K., Lesnov F.P., Yarmolyuk V.V., Lebedev V.I., Sal'nikova E.B. Ultramafic and mafic magmatism in southwest-

ern Tuva. Russian Geology and Geophysics. 2011. vol. 52. no 3. P. 275–289. DOI: 10.1016/j.rgg.2011.02.002.

12. Сугоракова А.М., Хертек А.К. Новые данные к вопросу о возрасте Каахемского магматического ареала (Восточная Тува) // Геосферные исследования. 2017. № 3. С. 50–60. DOI: 10.17223/25421379/4/7.

Sugorakova A.M., Khertek A.K. The new data to the question of the age of associations Kaakhem magmatic area (Eastern Tuva) // Geosphere Research. 2017. № 3. P. 50–60 (in Russian).

13. Добрецов Н.Л. Раннепалеозойская тектоника и геодинамика Центральной Азии: роль раннепалеозойских мантийных плюмов // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 12. С. 1957–1973.

Dobretsov N.L. Early Paleozoic tectonics and geodynamics of Central Asia: role of mantle plumes. Russian Geology and Geophysics. 2011. vol. 52. no 12. P. 1539–1552. DOI: 10.1016/j.rgg.2011.11.003.

14. Владимиров В.Г., Владимиров А.Г., Гибшер А.С., Травин А.В., Руднев С.Н., Шемелина И.В., Барабаш Н.В., Савиных Я.В. Модель тектоно-метаморфической эволюции Сангилена (Юго-Восточная Тува, Центральная Азия) как отражение раннекаледонского аккреционно-коллизионного тектогенеза // Доклады академии наук. 2005. Т. 405. № 1. С. 82–88.

Vladimirov V.G., Vladimirov A.G., Gibsher A.S., Travin A.V., Rudnev S.N., Shemelina I.V., Barabash N.V., Savinykh Ya.V. Model of the tectonometamorphic evolution for the Sangilen Block (southeastern Tuva, Central Asia) as a reflection of the early Caledonian accretion-collision tectogenesis. Doklady Earth Sciences. 2005. vol. 405. no 8. P. 1159–1165.

15. Руднев С.Н., Бабин Г.А., Пономарчук В.А., Травин А.В., Левченков О.А., Макеев А.Ф., Телешев А.Е., Шелепаев Р.А., Плоткина Ю.В. Состав и возрастные рубежи формирования гранитоидов Западного Саяна // Литосфера. 2009. № 1. С. 23–46.

Rudnev S.N., Babin G.A., Ponomarchuk V.A., Travin A.V., Levchenkov O.A., Makeev A.F., Teleshev A.E., Shelepaev R.A., Plotkina Y.V. Composition and age boundaries of Western Sayan granitoids formation // Lithosphere. 2009. no 1. P. 23–46 (in Russian).

УДК 911.3 (470.5)

ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТЬ РАССЕЛЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ НА ВОДОСБОРАХ РЕК СТЕПНОГО ЗАВОЛЖЬЯ И ЮЖНОГО УРАЛА

Падалко Ю.А.

Институт степи Уральского отделения Российской академии наук – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Оренбургского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, e-mail: yapadalko@gmail.com

В статье рассматривается специфика расселения населения на степных водосборах российской части бассейна степных водосборах Заволжья и Южного Урала. На основе проведённого геоинформационного анализа расселения населения в пределах российской части бассейна р. Урал, выявлены общие черты и закономерности системы расселения в природных границах и социально-экономическом пространстве. Российская часть бассейна реки Урал по водосборной организации была разделена на 99 элементарных водосборов, притоков первого, второго, третьего и четвертого порядка. Системы расселения исследовалось по данным материалов композитных снимков ночной космической съёмки за период с 1992 по 2013 г., а количественная оценка на основе статистических данных переписи населения по 1646 населенным пунктам. Раскрыто наличие общей зависимости от удаленности от главной реки и центр-периферийном взаимодействием в расселении населения, что прослеживается в численности населения по порядкам водосборов. Установлено наличие высокой территориальной концентрации – более 50% всего населения на восьми водосборах, составляющих в сумме 11% от общей площади бассейна. Определены пояса и очаги наибольшей плотности населения по водосборам. Выявлено сохранение устойчивости системы расселения на притоках первого порядка в группе средних и малых населенных пунктах. Сокращение хозяйственной деятельности и ликвидация поселений наблюдается в период с 1992 по 2013 г. повсеместно, но особенно интенсивно в верхней части бассейна в пределах Южного Урала (Челябинской области и Республики Башкортостан) и юго-востоке Оренбургской области.

Ключевые слова: закономерности расселения, устойчивость системы расселения, водосбор, степное Заволжье, бассейн реки Урал

THE TERRITORIAL REGULARITIES AND STABILITY OF POPULATION SETTLEMENT IN THE RIVERS` CATCHMENTS OF THE STEPPE VOLGA AND SOUTHERN URALS REGIONS

Padalko Yu.A.

Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences – Orenburg Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, e-mail: yapadalko@gmail.com

In the article the specifics of population resettlement in the steppe catchments of the Russian part of the basin of the steppe catchments of the Volga and Southern Urals are discussed. Population distribution within the Russian part of the river basin based on the conducted geoinformation analysis of Urals, revealed common features and patterns of the settlement system in the natural borders and socio-economic space. According to the catchment organization, the Russian part of the Ural river basin was divided into 99 elementary catchments, tributaries of the first, second, third and fourth order. The resettlement systems were studied according to the data of composite images of night-time satellite imagery for the period from 1992 to 2013, and a quantitative assessment based on the statistical data of the population census for 1646 settlements. The presence of a general dependence on the distance from the main river and the center-peripheral interaction in the population distribution is revealed, which can be seen in the population according to catchment orders. The presence of a high territorial concentration was established – more than 50% of the total population in 8 catchments, amounting to 11% of the total basin area. Belts and foci of the highest population density over catchments have been identified. Preservation of stability of the resettlement system in the first-order tributaries in the group of medium and small settlements was revealed. The reduction in economic activity and the liquidation of settlements was observed between 1992 and 2013. everywhere, but especially intensively in the upper part of the basin within the Southern Urals (Chelyabinsk region and the Republic of Bashkortostan) and southeast of the Orenburg region.

Keywords: patterns of resettlement, stability of the resettlement system, catchment, steppe Trans-Volga, Ural river basin

Территориальная сосредоточенность (концентрация) поселений для определённого региона или местности является значимым показателем размещения населения. Он раскрывает особенности освоения территории, степень сформированности сети поселений и другую специфику расселения. Это не только отпечаток социально-экономического положения региона, но и процесс с участием большого количества людей. Для каждой территории концентрация населения может как усиливаться, так и уменьшаться. Это зависит от ряда факторов природного, экономического и исторического

генезиса. Из всех этих факторов наиболее статичным, но пространственно-дифференцированным являются природные условия. Они оказывают значительное влияние на территорию, определяя её привлекательность для заселения или невозможность проживания на ней.

Влияние природных условий на размещение населения достаточно сложно отделить от исторических и экономических причин. Но рассмотрение размещения населения с учетом природных границ (природных зон, речных бассейнов, водосборов) даёт возможность выявить закономерности системы расселения и её устойчивость.

Территории степного Заволжья и Южного Урала обладают схожими природно-климатическими условиями. Большая часть данной территории расположена в российской части бассейна р. Урал. Селитебное освоение на территории бассейна р. Урал имеет глубокую историю развития от пастбищных земель кочевых народов, древних очагов горнорудного производства и многоотраслевой промышленности. В настоящее время в российской части бассейна проживает 2,4 млн чел., более половины в крупных городах – Оренбург, Магнитогорск, Орск, Новотроицк, Сибай, Баймак, Учалы, Гай.

С целью исследования пространственных закономерностей расселения населения в российской части бассейна р. Урал проведен анализ размещения и распределения населения по численности и её динамики на водосборах малых рек.

Материалы и методы исследования

Определение границ элементарных водосборов создано на основе цифровой модели местности (ЦММ) исследуемой территории. В работе использованы данные ЦММ – SRTM 3 с разрешением три угловых секунды или примерно 90 м. Анализ водосборной организации территории проводился в некоммерческой программе SAGA GIS с поэтапной корректировкой векторного слоя в программе MapInfo 11.5. Российская часть бассейна реки Урал по водосборной организации была разделена на 99 (векторный слой) – элементарных водосборов, притоков первого, второго, третьего и четвертого порядка с площадью не более 2 тыс. км^2, что соответствует водосбору малой реки (рис. 1).

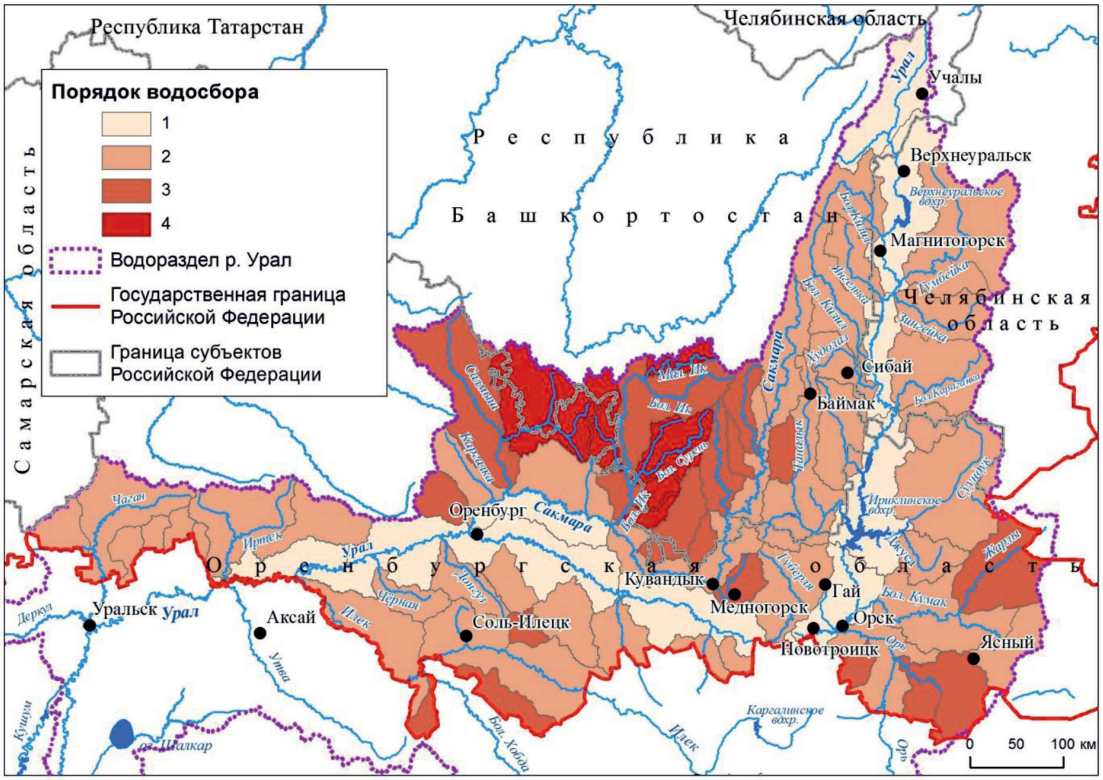


Рис. 1. Структура водосборов бассейна р. Урал по порядку притоков

Таблица 1

Размещение населения в бассейне р. Урал в разрезе субъектов Российской Федерации

Регион	Число сельских населенных пунктов / городов	Численность населения		
		Всего, тыс. чел.	Городское, тыс. чел.	Сельское, тыс. чел.
Оренбургская область	900 / 8	1526,0	1023,0	0,503
Челябинская область	189 / 2	0,525	0,417	0,108
Республика Башкортостан	557 / 3	0,345	0,118	0,227

В работе использованы данные численности населения населённых пунктов по итогам проведённой Всероссийской переписи населения 2010 г. по Республике Башкортостан, Челябинской области и Оренбургской области. Города, поселки и сельские населенные пункты в зависимости от численности населения были разделены на группы.

Исследование расселения и его территориальной концентрации проводилось картографическими и статистическими методами [1].

Устойчивость системы расселения исследовалась по данным материалов космической съёмки за период с 1992 по 2013 г., а статистическая оценка на основе данных Всероссийской переписи населения Оренбургской области за 2002 и 2010 гг. [2, 3]. Основными критериями устойчивости расселения было сохранение хозяйственной деятельности и людности населенных пунктов. Динамика численности населения была показана на примере водосборов Оренбургской области.

Данные космической съемки включали ежегодные комбинированные ночные снимки военных метеоспутников США DMSP OLS, на которых отчетливо видны огни поселений и хозяйственная деятельность человека, что отображает пространственное размещение населения [4]. Для определения разности между снимками 1992 и 2013 гг. использовался калькулятор растра программы SAGA GIS.

С помощь геоинформационного инструментария был выполнен статистический расчет численности и плотности населения по смежным субъектам и водосборам российской части бассейна р. Урал.

Результаты исследования и их обсуждение

В пределах территории исследования насчитывается 1646 сельских населенных пунктов (СНТ) и 13 городов [5]. Больше половины всего населения бассейна российской части р. Урал проживает на территории Оренбургской области. Средняя людность СНТ отмечается в Челябинской области – 571 чел. и Оренбургской области – 559 чел., а в Республике Башкортостан – 407 чел. Городское население преобладает в Челябинской области (79 %) и Оренбургской области (67 %), а в Республике Башкортостан в пределах бассейна преобладает сельское (65 %) (табл. 1).

Согласно расчету показателя Урланиса более половины сельского и городского населения проживает на восьми водосборах, которые составляют всего 11,6 % от общей площади бассейна р. Урал. Это указывает на значительную неравномерность распределения населения и высокую концентрацию на ограниченном числе водосборов (рис. 2).

Сосредоточенность населения на водосборах с высокой плотностью более 20 чел./ км^2 отмечается на левобережных притоках верхнего течения р. Урал в окрестностях г. Учалы, а также р. Большой Юшатырь в Республике Башкортостан и левобережных водосборах р. Сакмара от п. Саракташ до г. Оренбурга.

В верхней части бассейна р. Урал основная полоса расселения населения: от г. Учалы – г. Верхнеуральск – г. Магнитогорск – г. Сибай – г. Баймак. В окрестностях этих городов наблюдается плотное размещение населения. Основная часть тяготеет к крупным горно-промышленным центрам – г. Магнитогорску и г. Учалы. Низкая плотность населения наблюдается на водосборах рек: Бол. Уртазымка, Бол. Караганка и Суундук в приграничных районах Оренбургской и Челябинской области до верхней части водосбора Ириклинского водохранилища.

В средней части бассейна система расселения разрежена, имеются районы высокой и низкой плотности. Крупный район высокой плотности сформирован вокруг четырёх промышленных центров: п. Энергетик – г. Гай и г. Орск – г. Новотроицк. Отдельно выделяется на притоке р. Большой Кумак Г.О. Ясный. Второй очаг линейно-уз-

лового расселения – это областной центр – г. Оренбург по направлениям вдоль р. Урал вверх и вниз по течению. Необходимо отметить среднюю плотность населения на притоках: р. Бол. Ик, правобережья р. Илек, р. Сакмара, левобережье р. Чаган связанных с благоприятными почвенными и ландшафтными условиями для ведения сельского хозяйства. Неравномерное размещение населения на водосборах объясняется особенностями ландшафтов с хорошо развитой речной сетью и уклонами, и инфраструктурными хордами расселения вдоль транспортных магистралей.

Исторически сложившееся расселение по р. Урал унаследовано по линии форпостов и поселений казаков на границе Российской империи. На удалении до 15 км от р. Урал на левом и правом берегу проживает половина населения всей Оренбургской области. В Челябинской области на тех же расстояниях проживает 13% и 15% всего населения региона соответственно, а в Республике Башкортостан только уже 1,5% и 6,5% населения субъекта.

Группа населенных пунктов с населением до 500 человек составляет более 70% всех поселений в бассейне р. Урал, но в них проживает менее 10% населения. Основная часть населения сосредоточена в населенных пунктах с числом жителей более 5000 человек и городах (табл. 2).

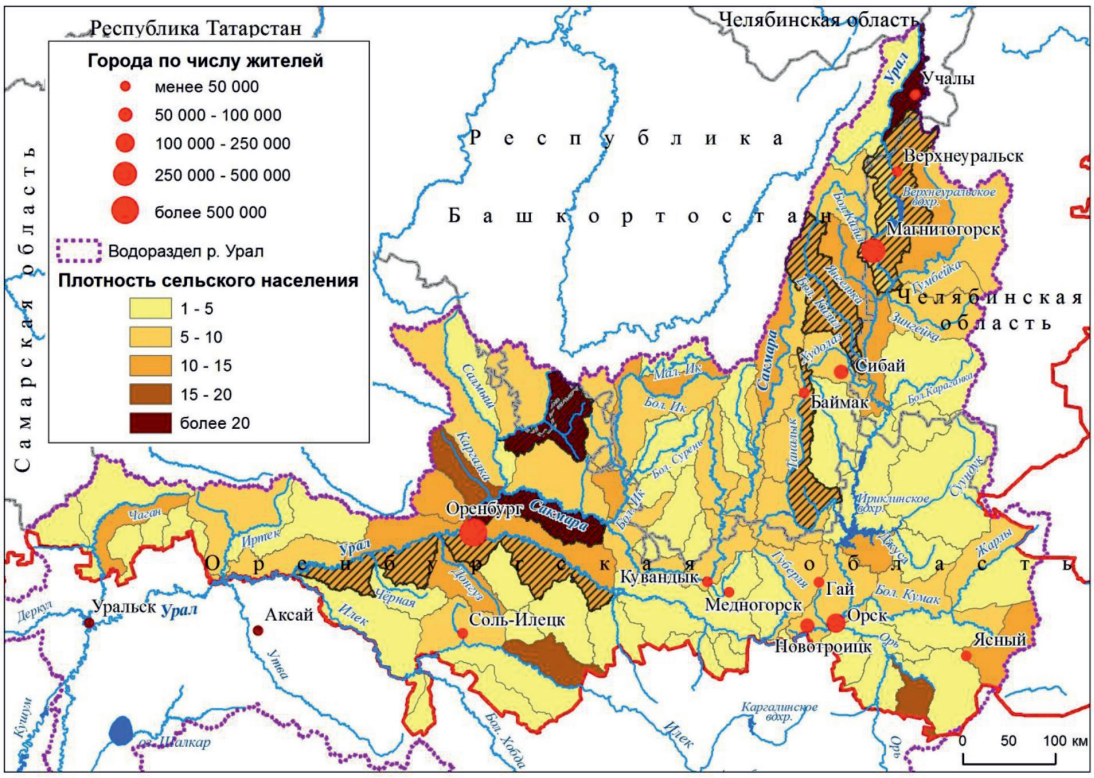


Рис. 2. Распределение населения по водосборам рек бассейна р. Урал

Таблица 2

Распределение населения по порядкам водосборов рек бассейна р. Урал

Порядок водосбора	Кол-во населенных пунктов / Число жителей, чел.				
	до 500	От 500 до 1000	От 1000 до 2000	От 2000 до 5000	Более 5000
1	185/37720	49/33945	36/50735	13/41594	14/1206412
2	603/112266	154/109013	63/80198	13/41159	14/458039
3	245/38177	33/23917	8/10626	– / –	7/72907
4	150/24292	20/13845	5/5729	– / –	3/23057

Таблица 3

Изменение численности населения населенных пунктов Оренбургской области на водосборах в бассейне р. Урал (в процентах)

Порядок водосбора	Группы населенных пунктов по численности населения, чел.				
	до 500	От 500 до 1000	От 1000 до 2000	От 2000 до 5000	Более 5000
1	9	–21	4	20	–4
2	–14	–7	–32	–22	–1
3	–5	–19	–30	0	–10
4	–11	3	–53	0	–6

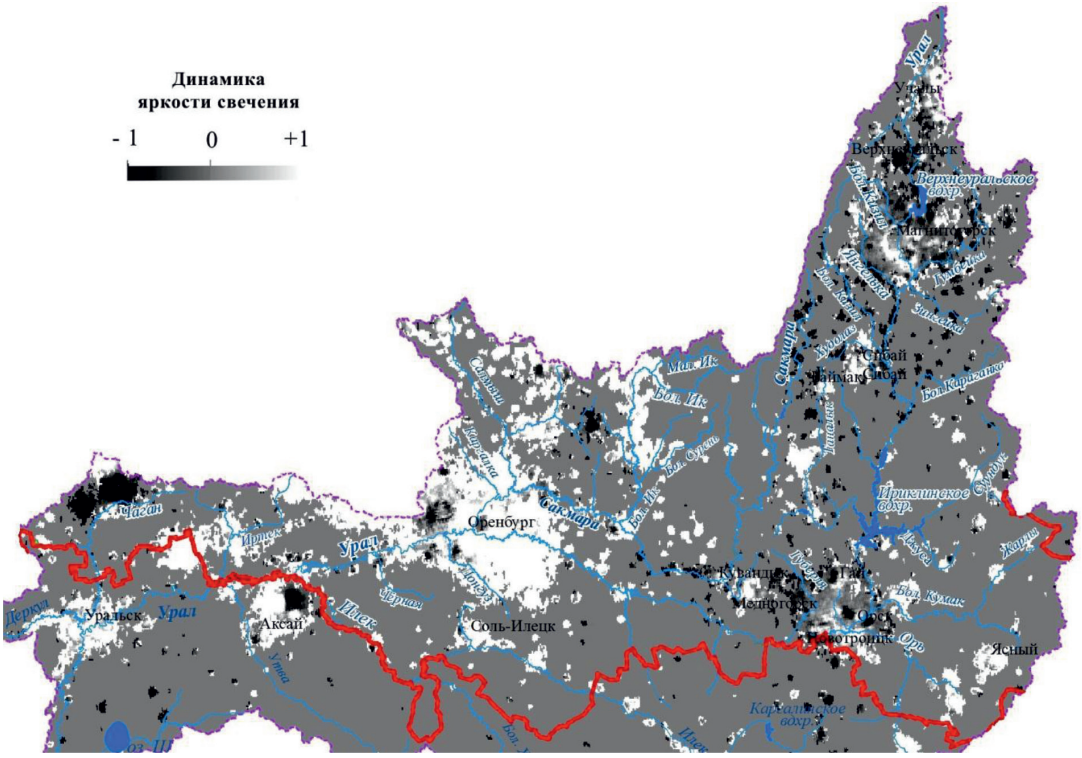


Рис. 3. Разность яркости ночных космических снимков DMSP OLS 1992 г. и 2013 г. на российской части бассейна р. Урал (Динамика изменения яркости свечения: –1 – пропало, 0 – не изменилось (или отсутствовало), +1 увеличилось (новое))

Более 50% населения размещается благодаря крупным городам (Оренбург, Магнитогорск, Новотроицк, Верхнеуральск) по водосборам притоков первого порядка и долине р. Урал. По количеству населенных пунктов выделяются водосборы второго порядка, их насчитывается более половины от общего количества, но в них проживает только 33% населения. На водосборах 3 и 4 порядка отсутствуют населенные пункты с численностью населения от 2000 до 5000 жителей, в то же время на них расположены центры муниципальных образований и крупные населенные пункты (более 5000 жителей).

Статистический анализ устойчивости расселения населения на примере населенных пунктов Оренбургской области в бассейне р. Урал подтверждает значительные изменения численности населения по группам населенных пунктов и водосборам рек (табл. 3).

В устойчивости системы расселения на водосборах рек по данным анализа разности композитных снимков ночной съёмки DMSP OLS 1992 г. с 2013 г. были отмечены значительные изменения. Сокращение хозяйственной деятельности и ликвидация поселений наблюдается в данный период повсеместно, но особенно интенсивно –

в верхней части бассейна в пределах Южного Урала (Челябинской области и Республики Башкортостан). В Оренбургской области уменьшение хозяйственной деятельности отмечается в окрестностях г. Орска, водосборе р. Губерля, среднему течению р. Сакмара ниже г. Кувандык (рис. 3). Увеличение площади ареалов свечения приходится на окрестности промышленных центров и больше всего на водосборы Заволжья – г. Оренбург, Бол. Ик (в Республике Башкортостан), Бол. Юшатырь.

Численность населения увеличилась только на водосборах первого порядка за исключением групп населенных пунктов от 500 до 1000 жителей и более 5000. На остальных водосборах и группах населенных пунктов отмечается уменьшение численности населения. Большое сокращение отмечено на водосборах 2 и 3-го порядков в группе поселений от 1000 до 2000 жителей.

Выводы

В целом исследование влияния природных условий и границ на расселение населения выявило определенные закономерности. Во-первых, деление речного бассейна на водосборы различного уровня в зависимости от удаленности от главной реки схоже с центр-периферийным расселением населения, что отражается в уменьшении численности населения по порядкам водосборов. Во-вторых, отмечается территориальная концентрация населения на отдельных участках (водосборах), составляющих более 50% всего населения. Устойчивость системы расселения в значительной степени сохраняется на притоках первого порядка в средних и малых населенных пунктах. В целом анализ показал среднюю и высокую плотность населения на водосборах, играющих ключевую роль в формировании стока в бассейне р. Урал.

Работа выполнена в *рамках государственного задания «Степи России: ландшафтно-экологические основы устойчивого развития, обоснование природоподобных технологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды» (АААА-А17-117012610022-5).*

Список литературы / References

1. Зырянов А.И. Регион: пространственные отношения природы и общества. Пермь, 2006. 372 с.

Zyryanov A.I. Region: spatial relations of nature and society. Perm, 2006. 372 p. (in Russian).

2. Официальные публикации итогов Всероссийской переписи населения 2010 года. [Электронный ресурс]. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm (дата обращения: 10.11.2019).

Official publication of the results of the 2010 All-Russian Population Census. [Electronic resource]. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm (date of access: 10.11.2019) (in Russian).

3. Всероссийская перепись населения 2002 года. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. URL: http://www.perepis2002.ru/index.html?id=9 (дата обращения: 10.11.2019).

All-Russian Census of 2002. Federal State Statistics Service. [Electronic resource]. URL: http://www.perepis2002.ru/index.html?id=9 (date of access: 10.11.2019) (in Russian).

4. Кушнырь О.В. Разработка методики картографирования ареалов концентрации населения: дис. ... кан. тех. наук. Москва, 2015. 117 с.

Kushnyr O.V. Development of a methodology for mapping habitats: dis. … kan. teh. nauk. Moscow, 2015. 117 p. (in Russian).

5. Чибилёв А.А. (мл.), Падалко Ю.А., Семёнов Е.А., Руднева О.С., Соколов А.А., Григоревский Д.В., Мелешкин Д.С. Очерки экономической географии Оренбургского края. Том II. Оренбург: ИС УрО РАН, 2018. 144 с.

Chibilyov A.A. (ml.), Padalko Yu.A., Semenov E.A., Rudneva O.S., Sokolov A.A., Grigorevsky D.V., Meleshkin D.S. An outline of economic geography of the Orenburg region. Volume II. Orenburg: IS UrO RAN, 2018. 144 p. (in Russian).

УДК 504.53:631.4(470.314)

ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ПРИДОРОЖНОЙ ТЕРРИТОРИИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТРАССЫ НА ПРИМЕРЕ СУДОГОДСКОГО РАЙОНА ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ

[1]Рагимов А.О., [1,2]Мазиров М.А., [1]Шентерова Е.М., [2]Зунимаймайти А.

[1]ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: korchaginaa60@mail.ru;
[2]РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, e-mail: mazirov@mail.ru

Являясь важнейшим геохимическим барьером, почвенный покров как естественного, так и разрастающегося в геометрической прогрессии техногенного типа ландшафтов подвержен постоянному загрязнению разными источниками. Контаминация придорожной части почвенного покрова экологически значимыми поллютантами обусловлена воздействием нарастающего атмосферного загрязнения за счет роста автомобильного движения, так и последующего оседания, и аккумулирования в растениях с последующим вовлечением в процесс разложения. Проведение точечных исследований, направленных на анализ состояния окружающей среды, в частности загрязнения почв придорожных территорий в контексте массового вовлечения все больших площадей под урбанистические территории, обуславливает формирование основ почвенно-экологического мониторинга и разработку методов его проведения в условиях различного уровня загрязнения. Экологическое состояние почв выступает индикатором разнообразных природных процессов. Отсутствие исследований загрязнения почвенного покрова придорожной территории автодороги в Судогодском районе делает исследование наиболее актуальным. В статье описаны результаты исследования экологического состояния почвенного покрова придорожной территории автодороги в Судогодском районе Владимирской области. Результаты исследования выявили четкую дифференциацию распределения тяжелых металлов в почвенном покрове и позволили определить уровни фитопатогенного влияния на тест-культурах в зависимости от удаленности от автомобильной дороги. На основе полученных данных была проведена оценка распределения тяжелых металлов не только с точки зрения загрязнения придорожной части почвенного покрова, но и близлежащих земель сельскохозяйственного назначения. Было установлено, что в зависимости от положения земельного участка идет незначительное колебание уровня загрязнения, в пределах установленных норм ПДК и ОДК в условиях изменения отдаленности от автомобильной дороги.

Ключевые слова: почвенный покров, тяжелые металлы, почва, загрязнение, автомобильная дорога, придорожные территории, фитопатогенный потенциал, экологическое состояние почв

FEATURES OF ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN THE SOIL COVER OF THE ROAD TERRITORY ON THE EXAMPLE OF THE SUDOGODSKIY DISTRICT OF THE VLADIMIR REGION

[1]Ragimov A.O., [1,2]Mazirov M.A., [1]Shenterova E.M., [2]Zunimaymayti A.

[1]Vladimir State University named after A.G and N.G. Stoletovs, Vladimir, e-mail: korchaginaa60@mail.ru;
[2]Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, e-mail: mazirov@mail.ru

The soil cover is the most important geochemical barrier, both natural and technologically growing types of landscapes, which are growing exponentially. The contamination of the roadside part of the soil cover with environmentally significant pollutants is due to the effects of increasing atmospheric pollution due to increased car traffic, as well as subsequent sedimentation and accumulation in plants with subsequent involvement in the decomposition process. Conducting spot studies aimed at analyzing the state of the environment, in particular, pollution of soils of roadside territories in the context of the massive involvement of ever-larger areas under urban areas, determines the formation of the basis of soil-ecological monitoring and the development of methods for its implementation under conditions of various levels of pollution. The ecological state of soils is an indicator of various natural processes. The lack of research on the pollution of the soil cover of the roadside territory of the road in the Sudogodsky district makes this study the most relevant. This article describes the results of a study of the ecological state of the soil cover of the roadside territory of the road in the Sudogodsky district of the Vladimir region. The results of the study revealed a clear differentiation of the distribution of heavy metals in the soil cover and determined the levels of phytopathogenic effects on test cultures depending on the distance from the highway. Based on the data obtained, the distribution of heavy metals was evaluated not only from the point of view of pollution of the roadside part of the soil cover, but also near the adjacent agricultural lands. It was found that, depending on the location of the land plot, there is a slight fluctuation in the level of pollution, within the established norms of maximum permissible concentrations of substances and tentatively permissible concentrations of substances under conditions of changing remoteness from the highway.

Keywords: soil cover, heavy metals, soil, pollution, automobile road, roadside territories, phytopathogenic potential, ecological state of soils

Загрязнение почвенной среды тяжелыми металлами, связанное с антропогенной деятельностью человека, в настоящее время является актуальной проблемой, создающей серьезные проблемы для безопасного и рационального экологического функционирова-

ния почв [1]. Любое загрязнение природного комплекса ведет к изменению элементного состава почв, при этом прослеживается увеличение в них целой гаммы тяжёлых металлов [2]. Почвы территорий, подвергающиеся урабанизационному процессу, несут достаточно высокий уровень антропогенной нагрузки. В результате этого происходит нарастание процессов деградации, что впоследствии обуславливает невозможность нормального функционирования почвенного покрова [3]. В почвах техногенных ландшафтов неизбежно повышается содержание ряда поллютантов. Одновременное и многолетнее осаждение газовых (SO_3, SO_2, H_2SO_4, F, NO_2) и газопылевых выбросов тяжелых металлов и других элементов может приводить к полному уничтожению растительного покрова, смыву почв и образованию «техногенной» пустыни. Загрязнение почв придорожных территорий является последствием постоянного и нарастающего использования автотранспорта. Попадая в почвенную среду, поллютанты вызывают изменения биологических, физических, химических свойств и вызывают нарушение протекания естественного цикла биохимических процессов [4]. Загрязнение почвенной среды носит долговременный характер, и при условии дальнейшего нарастания и нерегулирования данных процессов воздействия, будет наблюдаться переход с локального уровня воздействия, с изменением дальнейшей неустойчивости структурно-функционального уровня особенностей [5].

Цель исследования: оценка влияния автомобильной дороги Р-72 общего пользования регионального значения Владимирской области Владимир – Муром – Арзамас Судогодского района Владимирской области на загрязнение почв придорожной территории.

Задачи исследования:

1. Оценить техногенную нагрузку на участке придорожной части автомобильной дороги Судогодского района Владимирской области.

2. Выявить закономерности изменения основных параметров плодородия и экологического состояния почв в зоне постоянного техногенного загрязнения.

3. Проанализировать изменения биологических свойств растений в зоне загрязнения, прилегающей к автомобильной части автомобильной дороги.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на автомобильной трассе 17Р-1 общего пользования регионального значения Владимирской области Владимир – Муром – Арзамас (по территории Владимирской области) Судогодского района Владимирской области. На одной территории геохимического исследования был выделен участок, имеющий следующее географическое положение, ограниченное координатами: 55.971982 40.823839 – 55.972128 40.827250, сопряженный с аккумулятивной частью исследуемого ландшафта) в дальнейшем рассматриваемый как источник загрязнения, и прилегающей к нему части придорожной территории на расстоянии 200 м от дороги (–0,5 м; –1 м; –5 м; –10 м; –200 м). Почвенный покров представлен дерново-среднеподзолистыми супесчаными почвами на моренном суглинке. Придорожная территория на расстоянии 5 м от дороги представляет собой видоизмененный почвенный покров, лишенный естественной растительности по типу «техногенной» пустыни с постепенным озеленением и переходом в лесополосу, служащей естественным растительным буфером загрязнения системы «дорога – буфер – почва – растение – человек»».

Отбор почвенных образов проводили по ГОСТ 28168-89, определение pH по ГОСТ 26484-85, подвижные формы фосфора и калия по методу Кирсанова на фотоэлектро-колориметре КФК-3-01 и на пламенном фотометре ПФА-378 по ГОСТ Р 54650-2011, определение содержания органического вещества по методу Тюрина ГОСТ 26213-91, содержание валовых форм тяжелых металлов согласно Методическим указаниям по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства [3] 1 N азотной кислотой. Процедуру пробоотбора проводили в течение июля 2019 г. с периодичностью в 3 дня. Климатические параметры данного периода были представлены: среднемесячной температурой воздуха +15,2 °С, при этом средняя дневная и ночная температуры составили +17,1 °С и 14,9 °С соответственно. Количество осадков в период исследования составило 55,4 мм. Уровень среднемесячной влажности составил 74,7 %. Среднее атмосферное давление составило 740,2 мм рт. ст. По результатам прооботбора тростьевидным почвенным буром в слое 0–20 см было отобрано 240 почвенных проб с разного расстояния от автомобильной дороги, что составило 48 почвенных образцов с каждого изучаемого расстояния от автомобильной дороги. Рас-

чет количества автотранспортных средств на выбранном участке автомобильной дороге проводили согласно ГОСТ Р 56162-2014. Работу проводили путем натурных наблюдений структуры и интенсивности автотранспортных потоков на выбранном участке автомобильной дороги с подразделением по основным группам автотранспортных средств и последующим расчетом выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведенный учет автотранспорта показал, что интенсивность движения на исследуемом участке территории составляет от 2232 до 30672 авт/сут. Подсчет автомобильной нагрузки на анализируемый участок дороги выявил, что наибольшую группу автотранспортных средств представляют легковые автомобили, с приоритетом бензинового и дизельного топлива. В процентном соотношении подразделение типов автотранспорта на участке выглядит следующим образом: легковые автомобили – 76 %, грузовые автомобили – 8 %, автобусы – 11 %, газели – 5 %. Такая четкая дифференциация основных групп автотранспортных средств связана со следующим рядом причин: с динамичным развитием рынка индивидуального автопарка у населения, ведением планового рейсового сообщения между населенными пунктам по данному отрезку трассы, низким охватом сельскохозяйственного оборота ввиду достаточно низкого уровня плодородия почв, и сниженного спроса на услуги перевозок в данной точке районного исследования.

Согласно проведенному анализу установлена четко выраженная дифференциация по обеспеченности почв показателями элементного химического состава. Для более детального визуального распределения содержание параметров плодородия почв придорожной территории рассматривали исходя из класса обеспеченности общепринятых градаций (рис. 1).

Как следует из данных, представленных на рис. 1, наиболее низкие уровни содержания подвижных форм фосфора, калия и органического вещества приходятся на первые 5 м от источника загрязнения (а/м дороги). Затем в «пограничной точке» 10 м идет резкий подъем обеспеченности почвы по уровню показателей плодородия. В отношении величины $pH_{вод}$ имеет место подкисление в зависимости от удаления от автомобильной дороги. В среднем отношение величины содержания 0–5 м к 10 м имеет следующий вид: pH – 6,99/6,41; P_2O_5 – 92,1/100,4 мг/кг; K_2O – 89,97/101,6 мг/кг; С;1,17/1,29 %. Низкие значения pH способствуют усилению миграционных свойств тяжелых металлов в почве придорожной территории. В дальнейшем идет значительное нарастание величины обеспеченности почв основными химическими элементами и на расстоянии 200 м наблюдаются достаточно высокие показатели. Таким образом, пограничной зоной влияния на качественный состав почв является расстояние 0–10 м от автодороги.

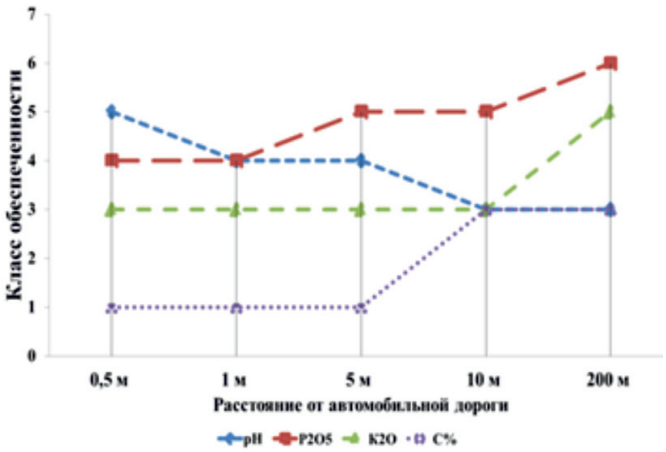


Рис. 1. Динамика основных параметров плодородия почв придорожной территории исходя из класса обеспеченности

Как было озвучено ранее, основным источником антропогенного поступления тяжелых металлов в природную среду является транспорт, формирующий мощный поток тяжелых металлов в результате высокого уровня атмосферных выбросов. Вследствие чего возникает несовершенство экологических процессов, что приводит к загрязнению атмосферы в целом, в том числе приземного почвенного и внутрипочвенного слоев, а также растительного покрова. Процесс урбанизации оказывает наиболее сильное воздействие на ландшафты, вызывая коренное изменение почвенного и растительного покрова.

Автотранспорт является основным источником загрязнения почв придорожных территорий медью, цинком, свинцом и кадмием, которые в дальнейшем в процессе естественного и антропогенного массопереноса, оказывают негативное воздействие. Анализ приземного почвенного и 0–20 см внутрипочвенного слоев почвенного покрова придорожной территории выявил формирование экологических аномалий и четкую дифференциацию в зависимости от источника загрязнения (таблица).

Содержание тяжелых металлов в почвах придорожных территорий, мг/кг почвы

Расстояние от автомобильной дороги	Pb	Cu	Zn	Cd
0,5 м	59,3	48,3	157,4	3,4
1 м	51,9	46,7	144,7	3,14
5 м	49,1	44,9	106,9	3,26
10 м	38,1	34,1	68,4	0,37
200 м	25,9	21,9	39,4	0,49

Установлено что в 200-метровой зоне от автодороги идёт четкое формирование экологически подверженной почвенной зоны. Как следует из данных, представленных в таблице, имеет наибольший уровень антропогенной аккумуляции тяжелых металлов приходится на расстояние (Р) до 5 м от источника загрязнения с последующим уменьшением и составляет (в среднем) Pb ($P_{ср}$ – 44,9/$P_{0,5-5}$ – 53,4/ $P_{0,5-10}$ – 49,6), Cu ($P_{ср}$ – 39,2/ $P_{0,5-5}$ – 46,6/43,5) Zn ($P_{ср}$ – 103,4/ $P_{0,5-5}$ – 136,3/ $P_{0,5-10}$ – 119,4) Cd ($P_{ср}$ – 2,1/ $P_{0,5-5}$ – 3,3/ $P_{0,5-10}$ – 2,5). Превышение ПДК приходится на первые 10 м от автомобильной дороги с тенденцией постепенного снижения, что подтверждается данными, представленными в таблице.

Расчет коэффициентов концентрации (рис. 2) с последующим расчетом суммарного показателя загрязнения почв (таблица) позволил обобщить и выявить зоны «экологической подверженности» почв придорожной территории. Как следует из рис. 2 наиболее высокий уровень загрязнения почвенного покрова приходится на расстояние 5 м от автомобильной дороги. Причем стоит отметить, что на фоне постепенного снижения Кс у Pb, Cu, Zn имеет место резкое снижение Кс у Cd в 10-метровом расстоянии от источника загрязнения. Такое изменение связано в первую очередь с естественным буфером, в качестве которого выступают зеленые насаждения, устойчивые к загрязнению, с большой листовой поверхностью и большим объемом газопоглощения и осаждения пыли вдоль дороги.

Оценку опасности загрязнения почв проводили по комплексу единых методических подходов в МУ 2.1.7.730-99 на основе отношения химического состава элементов по показателю Кс и Zc проводили по оценочной шкале, градации которого разработаны на основе изучения показателей здоровья населения, проживающего на территориях с различным уровнем загрязнения.

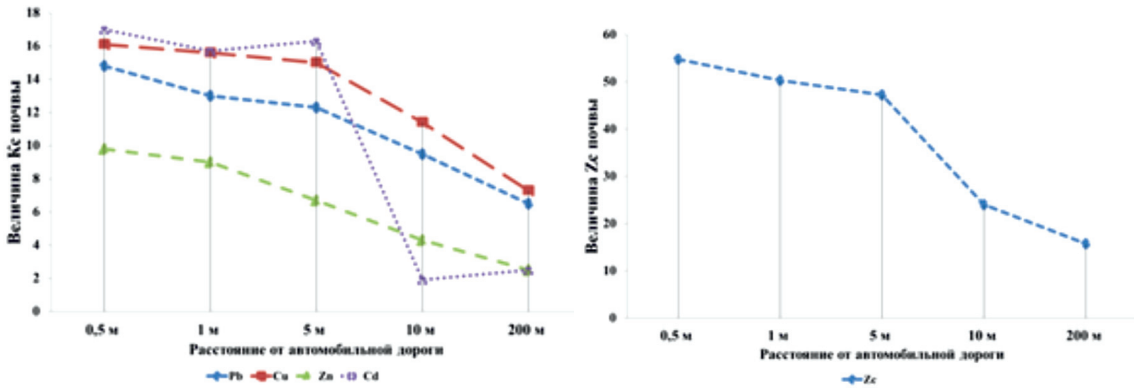


Рис. 2. Величина Кс и Zc в почве придорожной территории

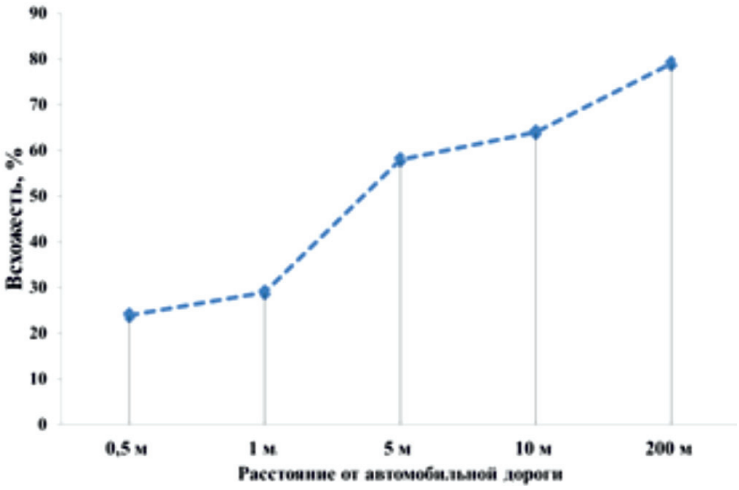


Рис. 3. Всхожесть семян тест-культуры редиса сорта «Вера» в зависимости от отдаленности от автодороги

Высокая дифференциация фонового содержания концентраций тяжёлых металлов в почвенном покрове анализируемого участка придорожной территории свидетельствуют о высокой аккумулирующей способности. Величина Zc Динамика представлена на рис. 2.

Рассчитанные значение индекса загрязнения почв тяжелыми металлами варьируют от высокого на расстоянии 0,5–5 м, среднего – на расстоянии 10 м и низкого – 200 м и более, что позволяет судить о четкой дифференциации экологического состояния почв придорожной территории. Из всего это следует, что автомобильная дорога средообразующие функции путем изменения химического состава почвенного покрова придорожной территории, однако в то же время почвенный покров является универсальным биогеохимическим барьером для большинства соединений на пути их дальнейшей миграции.

Деградация почв территорий, подверженных постоянному антропогенному прессу, приводит к значительному изменению их биологической активности (рис. 3).

Тяжелые металлы при загрязнении атмосферы, почвы от автомобильной дороги не только снижают продуктивность растений и нарушают сложившиеся фитоценозы, но и могут ухудшать гигиеническое качество потенциальной сельскохозяйственной продукции. Изучению перемещения тяжелых металлов в почвенном профиле посвящено много работ, но полное понимание их круговорота и баланса еще не достигнуто.

С увеличением удалённости от автодороги возрастает величина всхожести редиса сорта «Вера», применяемого в опыте, как фитотест-культура. Повторность 4-кратная. Данные по всхожести тест-культуры свидетельствуют о том, что на прорастание семян редиса влияет неблагоприятное химическое и экологическое состояние почв. Общая динамика увеличения всхожести семян, обусловленная снижением фитотоксичности почвы, наблюдаемая на протяжении всего периода исследований, полностью подтверждает влияние удаленности от источника загрязнения и экологического состояния почвы.

Выводы

1. Почвенный покров придорожной территории автомобильной дороги Р-72 общего пользования регионального значения Владимир – Муром – Арзамас Судогодского района Владимирской области, находясь в постоянном давлении антропогенного пресса, претерпевает колоссальное нарушение экологических функций почв исходя из низких показателей качественного (pH, P2O5, K2O, C) и экологического состояния ввиду превышении ПДК (ОДК) экологически значимых поллютантов Pb, Cu, Zn, Cd).

2. В зависимости от удаленности от автомобильной дороги выявлены основные закономерности накопления и распределения поллютантов, а также связанные с этим изменения плодородия почв.

3. Дифференцированное по уровню загрязнения экологическое состояние

почв придорожной территории оказывает прямое негативное воздействие на рост и развитие растений, что доказано методом фитоиндикации почв на тест-культуре редиса сорта «Вера». Наиболее низкий уровень всходов приходится на образцы, отобранные на расстоянии 5 м от источника загрязнения.

Список литературы / References

1. Карбасникова Е.Б., Залывская О.С., Чухина О.В. Содержание тяжелых металлов в почве и древесной растительности в условиях городской агломерации // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019. № 5 (371). С. 216–223. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.216.

Karbasnikova E.B., Zalyvskaya O.S., Chukhina O.V. Heavy metals content in soils and woody vegetation of urban area // Lesnoy Zhurnal. 2019. № 5 (371). P. 216–223 (in Russian).

2. Рагимов А.О., Зубкова Т.А.,. Мазиров М.А. Почва и человек: эколого-функциональное взаимодействие. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА, 2015. 244 с.

Ragimov A.O., Zubkova T.A., Mazirov M.A. Soil and man: ecological and functional interaction. Ivanovo: FGBOU VO Ivanovskaya GSKHA, 2015. 244 p. (in Russian).

3. Быкадорова О.А. Анализ загрязнения почв придорожных участков от выбросов автотранспорта // Новая наука: проблемы и перспективы: материалы научной конференции. Нефтекамск: Изд. НИЦ «Мир науки», 2016. С. 41–44.

Bykadorova O.A. Analysis of soil contamination of roadside areas from vehicle emissions // Novaya nauka: problemy i perspektivy: materialy nauchnoy konferentsii. Neftekamsk: Izd. NITS «Mir nauki», 2016. P. 41–44 (in Russian).

4. Казанцев И.В., Матвеева Т.Б. Содержание тяжёлых металлов в почвенном покрове в условиях техногенеза // Самарский научный вестник. 2016. № 1 (14). С. 34–37.

Kazantsev I.V., Matveeva T.B. The content of heavy metals in the soil cover in the conditions of technogenesis // Samarskiy nauchnyy vestnik. 2016. № 1 (14). P. 34–37 (in Russian).

5. Стасюк Н.В. Теория и реализация комплексного мониторинга почвенного покрова: монография. М.: Макс Пресс, 2018. 73 с.

Stasyuk N.V. Theory and implementation of integrated monitoring of soil cover: monograph. M.: Max Press, 2018. 73 p. (in Russian).

УДК 551.89(571.54/.55)

МИКРОЧАСТИЦЫ УГЛЯ В ТОРФЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ ПОЖАРОВ В ГОЛОЦЕНЕ НА ПРИМЕРЕ ТОРФЯНИКОВ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Решетова С.А.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, e-mail: srescht@mail.ru

На основе палинологических записей торфяных отложений Забайкалья выполнен анализ микрочастиц древесного угля. Вариабельность содержания угольных частиц показала, что за последние 3000 лет территории Беклемишевской и последние 1500 лет Читино-Ингодинской впадин неоднократно подвергались пожарам. Пожары возникали задолго до массового появления человека и были связаны, вероятнее всего, даже с незначительными вариациями климатических условий, не приводивших к кардинальным изменениям в составе растительности региона. Обработка всего массива палинологических данных методом главных компонентов, включая микрочастицы угля, показала обратную зависимость содержания угольных частиц в отложениях с содержанием влаголюбивых таксонов мхов, трав и водорослей. В последние 400 лет в Читино-Ингодинской впадине и последние 100 лет в Беклемишевской усиление пожарных явлений, вероятнее всего, связано с антропогенной нагрузкой на территорию. Интенсивность и масштабы пожарных явлений по палинологическим записям установить трудно, так как обилие частиц, составляющее максимумы на диаграммах, может быть разным, отличаясь в несколько раз. Идентифицировать морфологические особенности угольных частиц, представленных в ископаемом состоянии, с целью получения информации о типе сожженной растительности в процессе анализа торфяных отложений не удалось, так как в основной массе они были представлены абсолютно черными непрозрачными частицами. Лишь некоторые из них имели определенную структуру и были отнесены к обугленным частицам травянистых растений. Наличие пиков микрочастиц угля на палинологических диаграммах не всегда совпадает с прослойками угля в исследуемых отложениях.

Ключевые слова: палинология, микрочастицы древесного угля, торфяные отложения, голоцен, Забайкалье

MICROSCOPIC CHARCOAL FRAGMENTS IN PEAT DEPOSITS AS AN INDICATOR OF THE FREQUENCY AND INTENSITY OF FIRE ON THE EXAMPLE OF TRANSBAIKAL PEAT

Reshetova S.A.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, e-mail: srescht@mail.ru

Based on palynological records of peat deposits of Transbaikalia, an analysis of charcoal microparticles is performed. The variability of the content of coal particles showed that over the past 3,000 years, the Beklemishevskaya territory and the last 1,500 years of the Chitino-Ingodinsky Depression have repeatedly been exposed to fires. Fires occurred long before the mass appearance of humans and were most likely associated with even slight variations in climatic conditions that did not lead to drastic changes in the composition of the region's vegetation. Processing the entire array of palynological data by the method of principal components, including coal microparticles, showed an inverse relationship between the content of coal particles in sediments and the content of moisture-loving taxa of mosses, grasses and algae. In the last 400 years in the Chita-Ingodinsky Depression and the last 100 years in the Beklemishevskaya area, intensification of fire events is most likely associated with the anthropogenic load on the territory. The intensity and extent of fire events according to palynological records is difficult to establish, because the abundance of particles, which constitutes the maxima in the diagrams, can be different, differing several times. It was not possible to identify the morphological features of coal particles present in the fossil state in order to obtain information about the type of burnt vegetation during the analysis of peat deposits, because in the bulk they were represented by completely black opaque particles. Only some of them had a certain structure and were assigned to charred particles of herbaceous plants. The presence of peaks of coal microparticles in palynological diagrams does not always coincide with the layers of coal in the studied deposits.

Keywords: palynology, charcoal micro particles, peat deposits, Holocene, Transbaikalia

Изучение микрочастиц угля при палеогеографических реконструкциях имеет давнюю историю [1], но до сих пор остается актуальным [2–4]. Предполагается, что отдельные пожары или целые периоды их находят отражение в отдельных палинологических записях и выражаются как значительное увеличение на кривых обилия угольных частиц. Иногда возможна идентификация морфологических особенностей угольных частиц, представленных в ископаемом состоянии с целью получения информации о типе сожженной растительности [5]. Рост содержания микрочастиц угля в торфяных отложениях может рассматриваться как индикатор увеличения числа пожаров на окружающей территории, связанных как с изменением климата [6], так и с пожарами, вызванными деятельностью человека [7]. В данном исследовании представлены результаты анализа обилия угольных частиц на палинологических записях торфяных отложений, сформированных на территории Забайкалья за последние 3000 лет с целью реконструкции частоты, интенсивности и причины пожаров.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования послужили керны торфяных отложений Читино-Ингодинской и Беклемишевской впадин Забайкалья, датированные радиоуглеродным методом и изученные с помощью палинологического анализа. В Читино-Ингодинской впадине керн отобран на правом берегу поймы р. Ингоды, в приустьевой части р. Какова и Дальняя Амодовка и получил название «Ингода». Керн отобран в точке с координатами 51°50.24.48" с.ш., 113°09.42.06" в.д. Второй разрез отложений «Былое» изучен на западном побережье оз. Былое в точке с координатами 52°13'36" с.ш., 112°48'24.4" в.д. В процессе выполнения палинологических исследований одновременно производился подсчет спор, пыльцы, клеток водорослей и микрочастиц угля. Подсчет угольных частиц продолжался до тех пор, пока в спектре не набиралось 200 единиц пыльцы древесных растений. Процентное содержание угольных частиц приведено от суммы всей пыльцы и спор в образце. Статистическая обработка полученных данных выполнена в программе Past методом главных компонент. Микроскопические исследования выполнены с помощью биологического микроскопа Zeiss Axiolab (Германия).

Результаты исследования и их обсуждение

Палинологические исследования показали, что за время накопления верхнего торфяного слоя во впадинах существенных изменений в составе региональной растительности не происходило. По результатам анализа реконструируется растительность среднетаежных низкогорных ландшафтов, близкая по составу к современной, результаты детальных реконструкций которой представлены были ранее [8, 9]. В палинологических спектрах двух исследованных разрезов преобладает пыльца древесных растений без значительных колебаний по разрезу, не позволяя выделить явные смены растительности и климата на протяжении формирования отложений. В спектрах Беклемишевской впадины, по сравнению с Читино-Ингодинской, наиболее обильна пыльца лиственницы *Larix*, древесной *Betula* alba-type и кустарниковой берез *Betula* nana-type, отражая значительно большее участие этих видов растений в составе современной растительности впадины.

Беклемишевская впадина. Разрез «Былое». В торфяных отложениях изученного разреза угольные частицы присутствовали по всему разрезу (рис. 1). Две радиоуглеродные даты свидетельствуют о времени накопления отложений в период с конца суббореального (SB) и на всем протяжении атлантического (SA) периодов по сибирской шкале Н.В. Кинд в течение 3000 лет.

Максимальное обилие приходится на 1500 лет и на последние примерно 100. В разрезе отложений явных угольных прослоев не выделено. Лишь нижняя часть разреза с 15 до 39 см характеризуется более темным цветом отложений с примазками из сажи. Визуально на диаграмме установить какие-либо зависимости в распределении микрочастиц угля в отношении с пыльцой и спорами трудно. Обработка всего массива палинологических данных методом главных компонент (рис. 2), включая микрочастицы угля, показала прямую зависимость содержания угольных частиц, пыльцы травянистых (растения семейства яснотковых *Labiatae*, володушки *Bupleurum*, маревых Chenopodiaceae и полыни *Artemisia*), древесных (березы древесной, сосны сибирской или кедра *Pinus sibirica*) и кустарниковых (кустарниковой березы, ольховника *Duschekia* и ивы *Salix*) растений. И обратную зависимость – с зелеными водорослями *Pediastrum* и пыльцой влаголюбивых (рдеста *Potamogeton*, рогоза *Typha* и печеночных мхов *Riccia*) таксонов. Вероятнее всего, пожары имели место в то время, когда пологие склоны впадины были заняты лугово-лесными кустарниковыми сообществами из разных видов ив, берез и ольховника, плоские долины рек и нижние части склонов – луговыми и лугово-степными сообществами, а высокогорные – кедром. Повышенное содержание ценобиев зеленых водорослей в нижней и верхней частях разреза позволяет реконструировать увеличение площади их сообществ и увлажнение климатических условий примерно до 3000 лет назад и последние 600 лет. Обратная зависимость угольных частиц с зелеными водорослями и пыльцой влаголюбивых растений в разрезе торфяных отложений оз. Былое свидетельствует о снижении частоты и интенсивности пожарных явлений в это время при наступлении умеренно-теплого и влажного климата в Беклемишевской впадине. В целом климат во время суббореального периода был холоднее и суше по сравнению с предшествовавшим атлантическим и последующим субатлантическим периодами. На палинологической диаграмме его выделяет чуть большее обилие микрочастиц угля, а в разрезе – более темный цвет отложений.

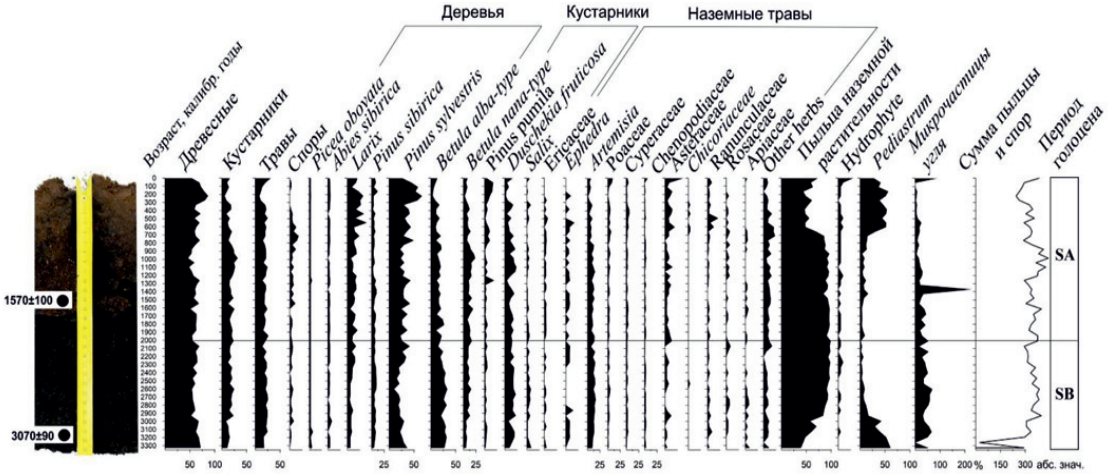


Рис. 1. Палинологическая диаграмма торфяных отложений оз. Былое

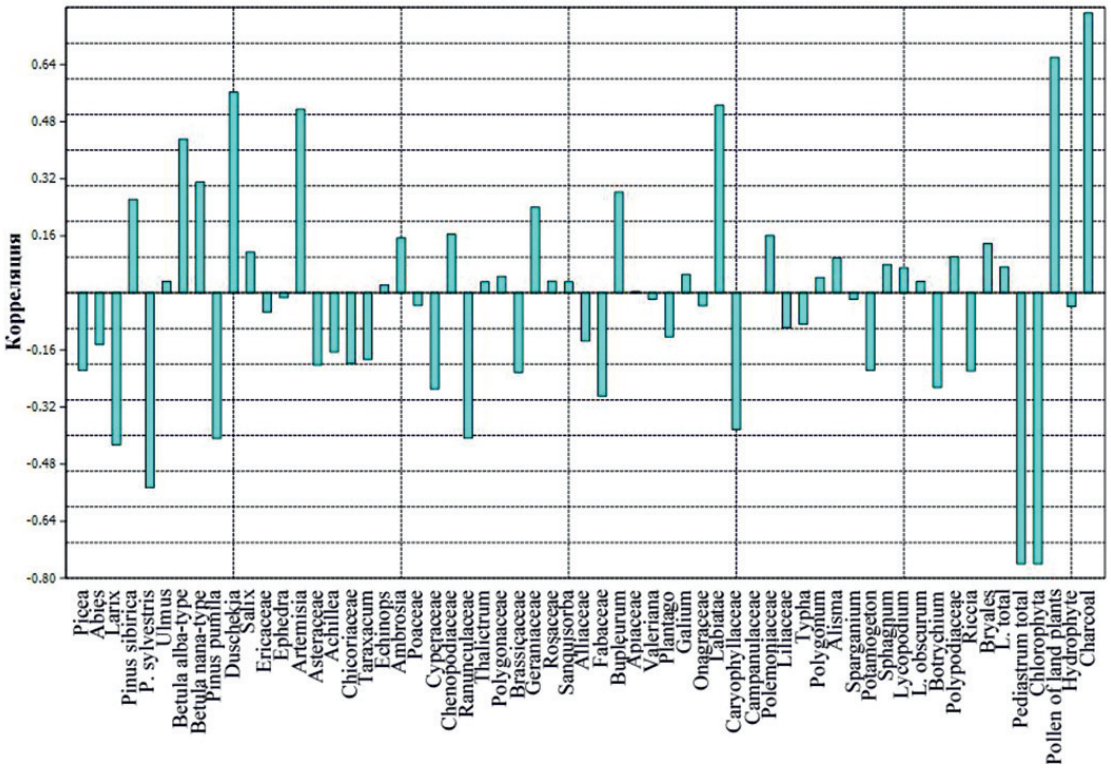


Рис. 2. Диаграмма корреляции методом главных компонент. Торфяник оз. Былое

Начало освоения человеком этой территории относится к эпохам неолита и бронзы (6000–2000 лет назад) с косвенными свидетельствами более древнего возраста [10], но наиболее интенсивное освоение, которое привело к кардинальным изменениям природных комплексов, произошло в 1960-е гг. [11], что фиксируется повышенным содержанием частиц угля в верхней части палинологической диаграммы. Максимальное содержание угольных частиц в средней части диаграммы, приходящееся на рубеж 1500 лет, вероятнее всего, характеризует пожарные явления природного характера.

Читино-Ингодинская впадина. Разрез «Ингода». В торфяных отложениях р. Ингоды микрочастицы угля также присутствуют

по всему разрезу. В интервале 7–10 см данные по их содержанию не приводятся, так как невозможно выполнить статистическую обработку в силу присутствия малого количества спор и пыльцы в отложениях. Две радиоуглеродные даты показали близкие значения в пределах 1500 лет (рис. 3). Учитывая значительную погрешность радиоуглеродных данных, историю развития природной среды в целом можно рассматривать на протяжении субатлантического периода (SA).

Верхняя часть разреза характеризуется повышенным содержанием микрочастиц угля. Известно, что угольные прослойки не всегда совпадают с пиками содержания углей на диаграммах. На палинологической диаграмме разреза «Ингода» максимальное содержание микрочастиц угля в спектрах совпадает с угольным прослоем, визуально зафиксированным в керне на глубине 4–5 см, который соответствует интервалу времени примерно 300–400 лет назад. Выше этого интервала по разрезу спектры характеризуются не таким обильным, но все же повышенным содержанием угольных частиц вплоть до современного периода. Этот же интервал характеризуется повышенным содержанием пыльцевых зерен кипрея *Epilobium* (*Onagraceae*).

Вероятнее всего, максимальные значения угольных частиц в спектре, совпадающие со слоем угля в керне, характеризуют пожар в месте отбора керна, случившийся примерно 400 л.н. В последующее время до настоящего времени пожарные явления происходили постоянно, но не затрагивали эту часть поймы, являясь при этом источником значительного количества угольных микрочастиц в изучаемом торфе. После пожаров пойменные участки зарастали – пионерным видом в послепожарных сукцессиях и обильно привносили пыльцу в отложения. На диаграмме повышенным содержаниям угольных частиц в керне соответствуют повышенные содержания пыльцы сосны и кедра. После отчетливо выраженного максимума содержания угольных частиц содержание пыльцы этих хвойных растений уменьшается, свидетельствуя в пользу постоянно происходящих пожаров в период распространения сосновых лесов, пожароопасность которых общеизвестна. Данные о содержании углистых частиц в этой записи демонстрируют, что деградации лесной растительности из сосны и кедра предшествовал максимальный пик содержания угля в торфяной залежи.

Обработка всего массива палинологических данных методом главных компонент (рис. 4), включая микрочастицы угля, показала прямую зависимость содержания угольных частиц, пыльцы травянистых (кипрея, маревых и полыни), древесных (лиственницы, сосны и кедра) и кустарниковых (кедрового стланика) растений. И обратную зависимость – с пыльцой водных и пыльцой влаголюбивых таксонов – осок, диатомей и мхов, что подтверждает сделанные выше выводы. Вероятнее всего, росли и подвергались пожарам сосново-лиственничные леса предгорий, охватывая и более высокогорные участки с кедром и стлаником.

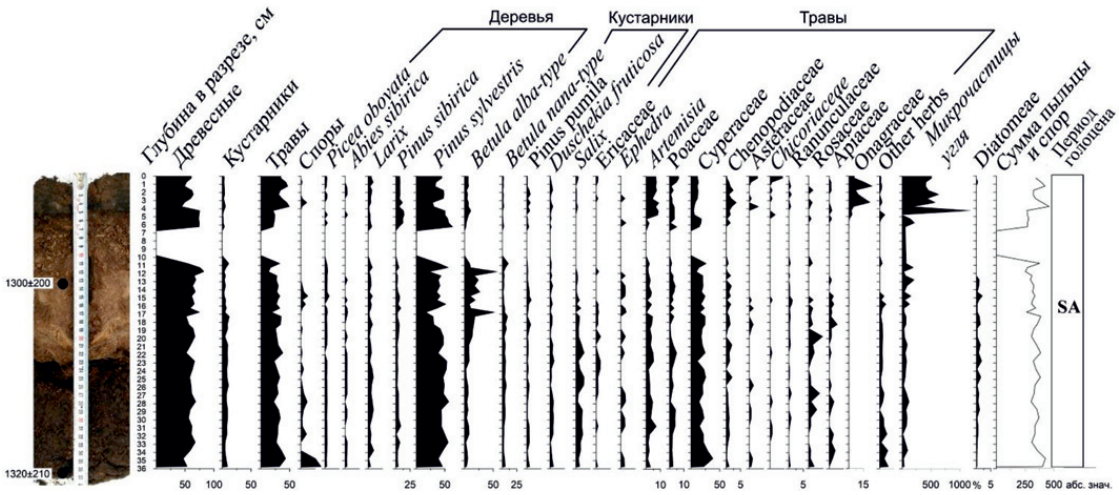


Рис. 3. Палинологическая диаграмма торфяных отложений р. Ингода

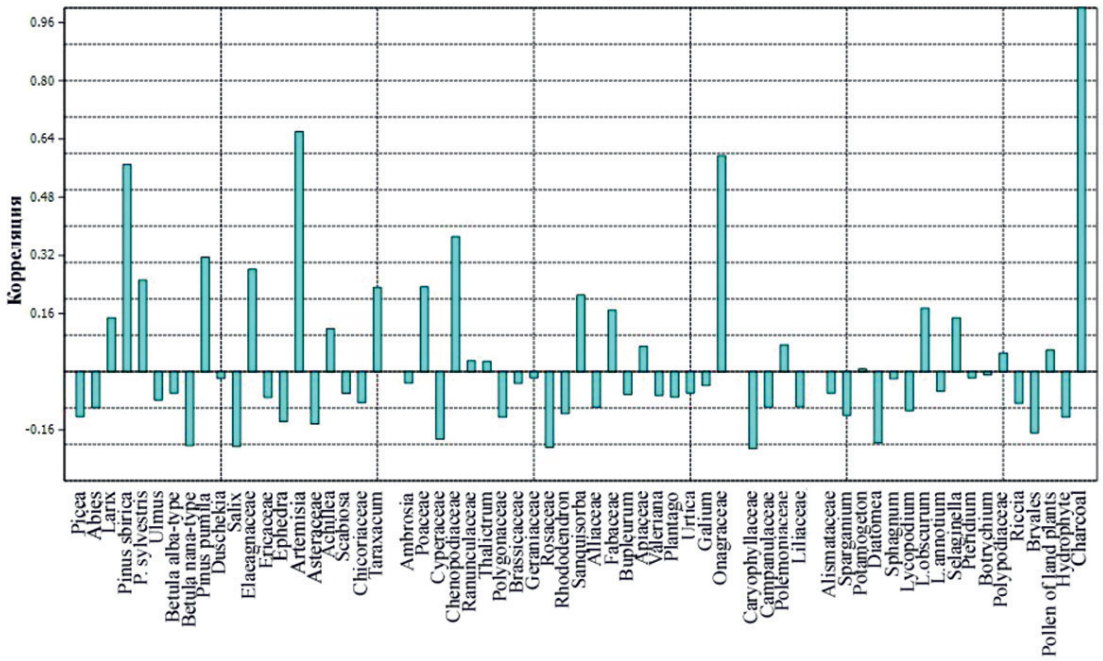


Рис. 4. Диаграмма корреляции методом главных компонент. Торфяник р. Ингода

Таким образом, пожары в этой части Читино-Ингодинской впадины активизировались в последние 400 лет и связаны, вероятнее всего, с усилением человеческой деятельности с появлением Читинского острога в 1653 г., хотя первое появление человека здесь произошло еще задолго до этого – в среднем палеолите [12].

Заключение

Микрочастицы древесного угля присутствуют в разных количествах по всему разрезу торфяных отложений в Читино-Ингодинской и Беклемишевской впадинах, свидетельствуя о постоянно происходивших пожарных явлениях, задолго до массового появления человека, и отражают природные причины, связанные с нестабильностью климатических условий в регионе. В последние 400 лет в Читино-Ингодинской впадине и последние 100 лет в Беклемишевской усиление пожарных явлений вероятнее всего, связано с антропогенной нагрузкой на территорию. Интенсивность и масштабы пожарных явлений, по палинологическим записям установить трудно, так как обилие частиц, составляющее максимумы на диаграммах, может быть разным, отличаясь в несколько раз (в разрезе отложений «Былое» обилие угольных частиц меньше чем в разрезе «Ингода» в 5 раз).

Идентифицировать морфологические особенности угольных частиц, представленных в ископаемом состоянии с целью получения информации о типе сожженной растительности, в процессе анализа не удалось. Часто они были представлены абсолютно черными непрозрачными частицами. Лишь некоторые из них были отнесены к обугленным частям травянистых растений.

Список литературы / References

1. Iversen J. Land occupation in Denmark's Stone Age. Danmarks Geologiske Undersfgelse. 1941. Vol. II. no. 66. 68 p.

2. Новенко Е.Ю. Реконструкция динамики древесной растительности территории музея-заповедника «Куликово поле» в среднем и позднем голоцене // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2017. Т. 2–2. С. 66–76. DOI: 10.24189/ncr.2017.034.

Novenko E.Yu. Reconstruction of the dynamics of Woody Vegetation in the territory of the Kulikovo Field Museum-Reserve in the Middle and Late Holocene // Nature Conservation Research. Conservation Science. 2017. Vol. 2–2. P. 66–76 (in Russian).

3. Новенко Е.Ю., Мазей Н.Г. Зерницкая В.П. Рецентные спорово-пыльцевые спектры заповедных территорий европейской части России как ключ к интерпретации результатов палеоэкологических исследований // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2017. Т. 2–2. С. 55–65. DOI: 10.24189/ncr.2017.012.

Novenko E.Yu., Mazei N.G., Zernitskaya V.P. Reciprocal spore-pollen spectra of protected areas of the European part of Russia as a key to the interpretation of the results of paleoecological studies // Nature Conservation Research. Conservation Science. 2017. Vol. 2–2. P. 55–65 (in Russian).

4. Щетников А.А., Безрукова Е.В., Филинов И.А., Иванов Е.В., Кербер Е.В. Озерный морфолитогенез в долине вулканов (Восточный Саян) // География и природные ресурсы. 2016. № 3. С. 37–48. DOI: 10.21782/GiPR0206-1619-2016-3(37-48).

Shchetnikov A.A., Bezrukova E.V., Filinov I.A., Ivanov E.V., Kerber E.V. Lake morpholithogenesis in the valley of volcanoes (East Sayan) // Geography and Natural Resources. 2016. № 3. P. 37–48 (in Russian).

5. Katie Jensen, Elizabeth A. Lynch, Randy Calcote and Sara C. Hotchkiss. Interpretation of charcoal morphotypes in sediments from Ferry Lake, Wisconsin, USA: do different plant fuel sources produce distinctive charcoal morphotypes? The Holocene. 2007. vol. 17. no. 7. P. 907–915. DOI: 10.1177/0959683607082405.

6. Simon G. Haberle. Correlations among Charcoal Records of Fires from the Past 16,000 Years in Indonesia, Papua New Guinea, and Central and South America. Quaternary Research. 2001. Vol. 55. Issue 1. P. 97–104. DOI: 10.1006/qres.2000.2188.

7. Носова М.Б., Северова Е.Э., Волкова О.А. Антропогенное воздействие на растительность Полистово-Ловатской болотной системы по палинологическим данным // Бюллетень московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2017. Т. 122. № 4. С. 87–95.

Nosova M.B., Severova E.E., Volkova O.A. Anthropogenic impact on Vegetation of the Polistovo-Lovatskaya bog system according to palynological data // Byulleten' moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologicheskiy. 2017. Vol. 122. № 4. P. 87–95 (in Russian).

8. Решетова С.А. Реконструкция растительности Читино-Ингодинской впадины (Забайкалье) в позднем голоцене // Геосферные исследования. 2018. № 4. С. 56–63. DOI: 10.17223/25421379/9/6.

Reshetova S.A. Reconstruction of Vegetation Chitino-Ingoda Depression (Transbaikalia) in the Late Holocene // Geosphere Research. 2018. № 4. P. 56–63 (in Russian).

9. Решетова С.А., Птицын А.Б. Палинологические исследования торфяных отложений Беклемишевской впадины (Центральное Забайкалье) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2018. № 4 (36). С. 88–94.

Reshetova S.A., Ptitsyn A.B. Palynological studies of peat deposits of the Beklemishevskaya Depression (Central Transbaikalia) // Geology and Mineral Resources of Siberia. 2018. № 4 (36). P. 88–94 (in Russian).

10. Дроботушенко А.В. Ивано-арахлейский комплекс археологических памятников // Малая эциклопедия Забайкалья: Археология / гл. ред. Р.Ф. Гениатулин. Новосибирск: Наука, 2011. С. 137–138.

Drobotushenko A.V. The Ivano-Arachlean complex of Archaeological Sites // The Small Cyclopedia of Transbaikalia: Archeology / gl. red. R.F. Geniatulin. Novosibirsk: Nauka, 2011. P. 137–138 (in Russian).

11. Ивано-Арахлейские озёра на рубеже веков (состояние и динамика) / Отв. ред. Н.М. Пронин. Новосибирск: Изд. СО РАН, 2013. 337 с.

Ivano-Arakhleya Lakes at the turn of the century (state and dynamics) / Otv. red. N.M. Pronin. Novosibirsk: Izd. SO RAN, 2013. 337 p. (in Russian).

12. Кириллов И.И., Кириллов О.И. Сухотино, комплекс археологических памятников // Малая эциклопедия Забайкалья: Археология / гл. ред. Р.Ф. Гениатулин. Новосибирск: Наука, 2011. С. 280–282.

Kirillov I.I., Kirillov O.I. Sukhotino, a complex of archaeological sites // Small Cyclopedia of Transbaikalia: Archeology / gl. red. R.F. Geniatulin. Novosibirsk: Nauka, 2011. P. 280–282 (in Russian).

УДК 550.361:551.583

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ И МОЩНОСТИ КРИОГЕННОЙ ТОЛЩИ ВИЛЮЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ

Рожин И.И., Аргунова К.К.

Институт проблем нефти и газа СО РАН – обособленное подразделение ФГБУН Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН», Якутск, e-mail: i_rozhin@mail.ru

Работа посвящена численному моделированию динамики температурного поля и многолетнемерзлой толщи для различных сценариев климата и условий теплообмена применительно к различным областям Вилюйской синеклизы. Она основана на математической модели двухфазной задачи Стефана, а в вычислительный алгоритм ее решения – на методе Самарского – Моисеенко. С помощью этой модели выполнены расчеты температурного поля и динамики криогенной толщи при заданной температурной истории в конкретных геологических условиях. Изменения климата реализуются путем задания на верхней границе массива горных пород следующих сценариев: кривая изменения относительной температуры на границе льдообразования в Антарктиде и геокриологические интерпретации палеоклиматической летописи на основе комплексных исследований содержания створок диатомовых водорослей и биогенного кремнезема в донных осадках оз. Байкал. На нижней границе массива задаются два условия: постоянство температуры или постоянство внутриземного теплового потока. Представлены результаты вычислительного эксперимента при усредненных значениях теплофизических свойств осадочных горных пород, соответствующих Средневилюйской площади. Расчеты показали, что положение нижней границы многолетнемерзлой толщи зависит и от выбранного сценария изменения палеоклимата, и от условий задания величины внутриземного теплового потока. Первый фактор смещает ее глубину примерно на 20–40 м, второй – на 70–90 м, однако во всех случаях вычисленные значения практически соответствуют современным результатам геотермических измерений на данной площади. Результаты таких вычислений позволят моделировать и прогнозировать состояние природной среды для других площадей, в том числе развитие экзогенных процессов, контролировать устойчивость инженерных сооружений, обеспечивая обоснованные проектные решения, в области развития нестационарных мерзлых толщ и в первую очередь для региона Вилюйской синеклизы.

Ключевые слова: геотемпературное поле, многолетняя мерзлота, реконструкция палеоклимата, задача Стефана, численное моделирование

MODELING GEOTEMPERATURE FIELD AND THICKNESS OF CRYOGENIC ROCKS IN THE VILYUY SYNECLYSE

Rozhin I.I., Argunova K.K.

Institute of Oil and Gas Problems SB RAS – a separate subdivision of the FGBUN Federal Research Center «Yakut Scientific Center SB RAS», Yakutsk, e-mail: i_rozhin@mail.ru

The work is devoted to numerical modeling of the dynamics of the temperature field and permafrost for various climate scenarios and heat transfer conditions in relation to different areas of the Vilyuy syneclise. It is based on the mathematical model of the two-phase Stefan problem, and in the computational algorithm for solving it – on the Samarsky-Moiseenko method. Using this model, the temperature field and dynamics of the cryogenic stratum were calculated for a given temperature history in specific geological conditions. Climate changes are realized by setting the following scenarios at the upper boundary of the rock massif: the relative temperature change curve at the ice formation boundary in Antarctica and geocryological interpretations of the paleoclimatic records based on comprehensive studies of the content of diatom valves and biogenic silica in the bottom sediments of Lake Baikal. At the lower boundary of the array, two conditions are set: the constancy of temperature or the constancy of the underground heat flux. The results of a computational experiment with averaged values of the thermophysical properties of sedimentary rocks corresponding to the Srednevilyuyskoe field are presented. Calculations showed that the position of the lower boundary of the permafrost layer depends on the selected scenario of paleoclimate change and on the conditions for setting the value of the intraterrestrial heat flux. The first factor shifts its depth by about 20-40 m, the second – by 70-90 m, however, in all cases, the calculated values practically correspond to modern results of geothermal measurements on this area. The results of such calculations will allow us to simulate and predict the state of the environment for other areas, including development of exogenous processes, control the stability of engineering structures, providing sound design decisions in the field of the evolution of non-stationary cryogenic rocks, and especially for the Vilyuy syneclise region.

Keywords: geotemperature field, permafrost, paleoclimate reconstruction, Stefan problem, numerical modeling

Вилюйская синеклиза по высокой концентрации углеводородных природных ресурсов и их экономической значимости принадлежит к числу важнейших регионов России. В настоящее время в пределах Вилюйской синеклизы открыты 11 газовых и газоконденсатных месторождений, наиболее крупные из которых находятся в промышленной разработке. Помимо углеводородных месторождений, синеклиза относится к Ленскому угольному бассейну с большим количеством месторождений угля, а западная часть структуры богата месторождениями каменной соли [1].

Тепловое состояние горных пород и изменения криогенной толщи во многом определяют особенности формирования месторождений и освоения природных ресурсов в северных регионах. В связи с этим изучение особенностей и закономерностей формирования геотемпературного поля криолитозоны рассматриваемой территории является важной научно-практической задачей.

Поздний неоплейстоцен, включая его финальную эпоху голоцен, является важнейшим историческим интервалом, последовательность событий которого полностью определила современный рельеф, ландшафт и особенности криолитозоны не только рассматриваемого региона, но и всей Земли. Поэтому развитие фундаментальных представлений об эволюции криолитозоны неразрывно связано с базовыми палеогеографическими гипотезами – последовательностью ландшафтно-климатических изменений в четвертичное время с акцентом на последние 125 тыс. лет. Палеогеографические гипотезы носят универсальный характер, сквозь их призму происходит формирование современных представлений о структуре и генезисе современных климата, ландшафтов, гидросферы, криосферы и биосферы.

Представления о палеогеографических изменениях территории всегда были и остаются теоретической основой для интерпретации геотемпературного поля современной криолитозоны, наблюдаемой в различных геологических и орографических структурах. Тепловое поле криогенной толщи является в значительной мере реликтом – результатом ее длительного охлаждения во время последних криохронов, что позволяет использовать этот факт для анализа состояния природной среды.

Известно, что скорость и глубина промерзания грунтов определяются многими причинами, среди которых главными всегда считались климат, условия теплообмена на поверхности, теплопроводность и льдистость пород. Эти же факторы, предположительно, оказывают влияние на инертность криолитозоны, ее устойчивость к климатическим колебаниям различных циклов.

При интерпретации аномалий температурного поля, которое унаследовано от предыдущих криохронов и является в целом нестационарным современному климату, необходимо учитывать не только вышеперечисленные признаки, но локальные палеогеографические обстановки его формирования. К таким условиям рассматриваемого региона относятся микроклимат, растительные и почвенные покровы, озерно-аллювиальные и эолово-криогенные процессы. Причем последние оказывали значительно большее влияние в регионе, нежели имеющиеся на сегодняшний день представления большинства исследователей.

Вопросам изучения геотемпературного поля различных тектонических структур посвящены работы: Е.А. Любимовой, Я.Б. Смирнова, Б.Г. Поляка, М.Д. Хуторского, Lachenbruch, Sass, Vitorello, Pollack, и многих других, а по районам Сибири – А.Д. Дучкова, В.Т. Балобаева, С.В. Лысак, В.Н. Девяткина, А.И. Левченко, Б.В. Володько, М.Н. Железняка и др. Оценка полученных данных по тепловому потоку и теплофизическим свойствам горных пород говорит о специфичности этих параметров в рамках отдельных структур.

Геотемпературное поле и мощность многолетнемерзлой толщи определяется тремя основными факторами – температурой на поверхности пород, теплофизическими свойствами разреза и внутриземным тепловым потоком. Именно эти параметры, наряду с климатом и условиями теплообмена на поверхности, необходимы для выполнения достоверных прогнозов и палеореконструкций при решении научных фундаментальных и прикладных задач освоения территории.

Изучение глобальных изменений природной среды в будущем производится на основе ретроспективных схем развития ландшафтов в прошлом. Этапы развития ландшафтов в позднем плейстоцене и голоцене служат аналогами прогнозируемых изменений в будущем.

Метод реконструкции температурной истории земной поверхности по данным геотермии скважин прочно вошел в арсенал методов палеоклиматических исследований. Анализируя современное распределение температур горных пород с глубиной по замерам в скважинах, можно оценить колебания среднегодовой температуры земной поверхности в прошедшие геологические периоды. Эти колебания, связанные с климатическими вариациями, распространяются через толщу горных пород и вызывают возмущение стационарного геотемпературного поля, формируемого глубинным тепловым потоком и тепловыми свойствами среды (температурную аномалию). Годовые колебания не проникают глубже 20÷30 м, колебания столетнего масштаба оставляют

аномальный след в интервале первых сотен метров, а потепление в конце последней ледниковой эпохи (~10 тыс. лет назад) фиксируется температурной аномалией до глубины 1,5÷2 км. Плейстоцен-голоценовое потепление представляет особый интерес. Оно завершает ближайший к нам цикл ледниково-межледниковых колебаний, характерных для климата четвертичного периода. Несмотря на более чем столетнюю историю изучения этого вопроса, механизм ледниковых колебаний во многом остается неясным [2].

Основная группа геокриологов России до недавнего времени считала, что многолетнее промерзание пород (особенно в южных районах Сибири) началось только в раннем неоплейстоцене, так как оно было обусловлено общепланетарным похолоданием климата на границе неогена и четвертичного периода. В то же время на палеоклиматической кривой, построенной для Центральной Якутии на основе комплексного изучения опорного разреза Мамонтова гора, показано, что в конце плиоцена средняя годовая температура воздуха $T_в$ была порядка +12 °C, а многолетнее промерзание пород началось только в середине раннего плейстоцена [3]. Некоторые ученые считают, что многолетнее промерзание пород началось только в среднем плейстоцене, синхронно с эпохой максимального самаровского оледенения, а другие полагают, что во многих районах криогенная толща мерзлых пород имеет позднеплейстоценовый возраст [4].

Материалы и методы исследования

Определение геотемпературных полей и криогенной толщи конкретного региона, помимо сведений о сценарии палеоклимата в данном регионе, о теплофизических характеристиках горных пород геологического разреза включает в себя математическую постановку соответствующей задачи и выбор адекватного этой постановке метода ее решения. Эта постановка должна обязательно включать в себя описание фазового перехода «вода – лед» и различие теплофизических свойств пород в талом и мерзлом состояниях.

Выбор метода решения соответствующей обратной задачи будет определяться граничными условиями, то есть изменениями температуры на поверхности земной коры, которые зависят от выбранного сценария палеоклимата, но в любом случае будут циклическими функциями времени. Это сразу заставляет отказаться от методов с явным выделением неизвестной границы фазового перехода, так как при этом таких границ может быть несколько, их движение будет во времени немонотонно, а некоторые из них могут сливаться друг с другом или исчезать.

Понятно, что такие задачи могут быть решены только численными методами, из которых наиболее подходящим является метод Самарского – Моисеенко, или, иначе, метод сквозного счета со сглаживанием разрывных коэффициентов уравнения теплопроводности в окрестности температуры фазового перехода. Этот метод, в котором граница раздела фаз явно не выделяется, позволяет использовать однородные разностные схемы. При этом скрытая теплота фазового перехода вводится с применением δ-функции Дирака в коэффициент теплоемкости – как сосредоточенная теплоемкость. Получаемая таким образом разрывная функция затем «размазывается» по температуре и не зависит от размерности задачи и количества фазовых границ. Это равносильно предположению, что фазовый переход происходит не при одной определенной температуре, а в некотором интервале температур, который определяется величиной параметра сглаживания («размазывания»). Выбранный метод лег в основу математической модели для расчетов температурного поля и динамики криогенной толщи при заданной температурной истории в конкретных геологических условиях.

Целью данной работы является моделирование геотемпературного поля и динамики многолетнемерзлой толщи для различных сценариев изменения климата и условий теплообмена применительно к различным областям Вилюйской синеклизы. В модели используется двухфазная задача Стефана [5], с помощью которой выполняются расчеты температурного поля и динамики криогенной толщи при заданной температурной истории в конкретных геологических условиях. На первом этапе выбирается и тестируется наиболее надежный метод решения прямых задач, так как существующие алгоритмы решения обратных задач, то есть задач реконструкции температурной истории земной поверхности по результатам геотермических исследований, сводятся к последовательности их решения.

На верхней границе массива горных пород в качестве сценариев изменения

климата рассмотрены: 1) кривая изменения относительной температуры на границе льдообразования в Антарктиде [6] и 2) геокриологические интерпретации палеоклиматической летописи [4, 7] на основе комплексных исследований содержания створок диатомовых водорослей и биогенного кремнезема в донных осадках озера Байкал. На нижней границе массива приняты два условия: постоянство температуры или постоянство внутриземного теплового потока.

Расчеты выполнялись при усредненных значениях теплофизических свойств осадочных горных пород, соответствующих Средневилюйской площади. Теплопроводность горных пород в талом и мерзлом состояниях с учетом их влагонасыщения, а также их плотность были взяты из работ [1, 8]. Влажность песчанистых пород принята по работе [9], удельные теплоемкости в сухом состоянии и плотность внутриземного теплового потока – по [1].

Результаты исследования и их обсуждение

В начальном приближении был проведен вычислительный эксперимент, в котором считалось, что промерзание горных пород началось 1,3 млн лет назад (середина эпохи плейстоцена). Расчет был проведен при следующих исходных данных: температура дневной поверхности до начала ее изменения $T_0 = 0$ °С, среднегодовая температура в наше время $T_t = -10$ °С, температура горных пород $T_L = 83$ °С на глубине $L = 3000$ м; геотермические градиенты в основных типах горных пород отложений Вилюйской синеклизы $\Gamma_{r1} = 0{,}025$ °С/м, $\Gamma_{r2} = 0{,}030$ °С/м, $\Gamma_{r3} = 0{,}027$ °С/м. На верхней границе задается линейная функция температурной истории $T = T_0 + (T_t - T_0)(t/t_{\max})$, где $(T_t - T_0)$ – полная амплитуда изменения температуры на момент $t_{\max} = 1{,}3$ млн лет. Получено, что при задании граничного условия I-го рода на нижней границе за 500 тыс. лет образовалась мерзлота мощностью 149 м, а при задании граничного условия II-го рода – 151 м. За это время температура дневной поверхности стала $T_0 = -3{,}85$ °С. Тогда при задании граничного условия I-го рода геотермические градиенты мерзлых и талых горных пород равны $\Gamma_1 = 0{,}02584$ °С/м и $\Gamma_2 = 0{,}02911$ °С/м соответственно. При задании граничного условия II-го рода получим $\Gamma_1 = 0{,}02550$ °С/м, $\Gamma_2 = 0{,}02829$ °С/м, температура на нижней границе составит $T_L = 80{,}6$ °С.

Далее была использована геокриологическая летопись неоплейстоцена Сибири (эпоха Брюнес – последние 800 тыс. лет) [4], которая составлена на основе интерпретации байкальской записи биогенного кремнезема [10]. С.М. Фотиев в своей работе [4] рекомендует рассматривать эту летопись в качестве опорной для всех континентальных районов России. Для интерпретации геокриологической летописи голоцена (11 тыс. лет назад – до современности) используем данные из кривой изменения относительной температуры на границе льдообразования в Антарктиде [6].

Следующий вычислительный эксперимент выполнен с использованием характеристик климата и геокриологических условий хронов неоплейстоцена (табл. 1–3 из [4]) и голоцена [6] при $t_{\max} = 800$ тыс. лет и ранее найденных значениях H, T_0, Γ_1, Γ_2. Получено, что при задании граничного условия I-го рода на нижней границе за 600 тыс. лет криогенная толща увеличилась до 431 м, а при задании граничного условия II-го рода – до 477 м. За это время температура поверхности уменьшилась до $T_0 = -11{,}47$ °С. Тогда при задании граничного условия I-го рода геотермические градиенты мерзлых и талых горных пород будут равны $\Gamma_1 = 0{,}02661$ °С/м и $\Gamma_2 = 0{,}03339$ °С/м соответственно. При задании граничного условия II-го рода получим $\Gamma_1 = 0{,}02405$ °С/м, $\Gamma_2 = 0{,}02925$ °С/м, температура на нижней границе $T_L = 73{,}8$ °С.

На рис. 1 представлена динамика мощности многолетнемерзлой толщи для Средневилюйской площади. Результаты расчетов показали, что нижняя граница многолетнемерзлой толщи за период 200 тыс. лет могла варьироваться от 100 до 140 м. При $t = 0$ и условии постоянного значения температуры на глубине 3000 м мощность мерзлоты достигает 450 м в случае изменения климата по байкальской летописи, 477 м – по Антарктиде. При условии постоянного значения геотермического теплового потока на этой же глубине мощность мерзлоты в случае изменения климата по байкальской летописи и по Антарктиде составляют соответственно 516 м и 560 м. Эти значения соответствуют геотермическим наблюдениям современности, так как по результатам геотермических исследований для данной площади глубина залегания нулевой изотермы колеблется от 480 до 630 м [9, 11, 12].

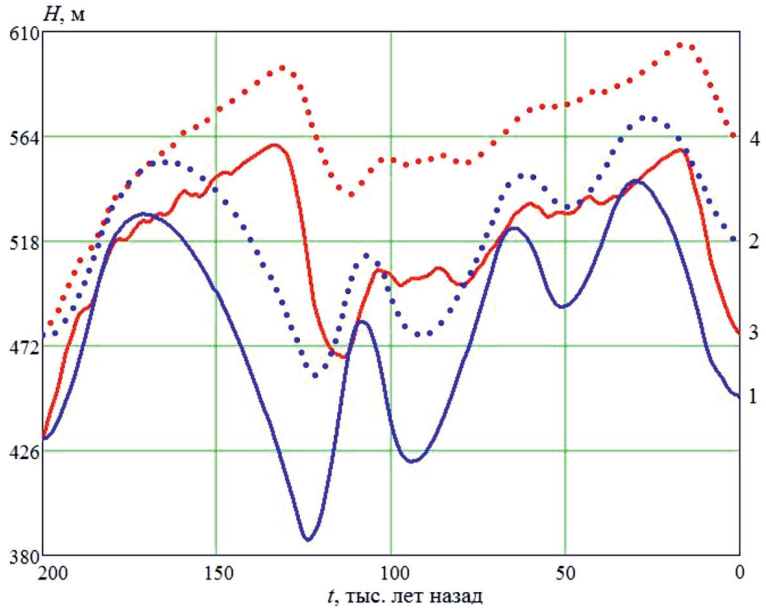


Рис. 1. Динамика подошвы многолетнемерзлой толщи для Средневилюйской площади при различных сценариях изменения климата: 1, 2 – по байкальской летописи; 3, 4 – по Антарктиде; сплошные кривые – при условии постоянства температуры горных пород (83 °С) на нижней границе (3000 м), точечные кривые – при условии постоянства внутриземного теплового потока (61 мВт/м²) на нижней границе

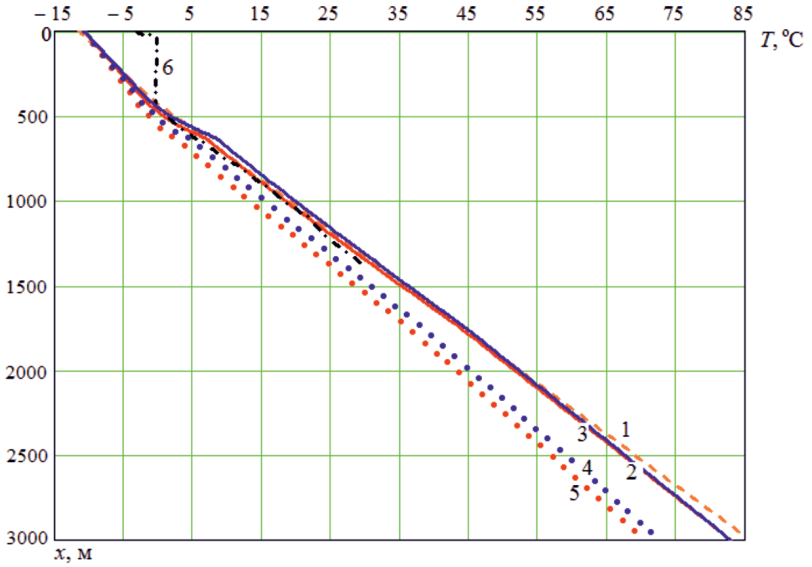


Рис. 2. Распределение температуры горных пород для Средневилюйской площади при различных сценариях изменения климата: пунктир 1 – начальное (200 тыс. лет назад); 2, 4 – по байкальской летописи; 3, 5 – по Антарктиде; сплошные кривые 2 и 3 – при условии постоянства температуры горных пород (83 °С) на нижней границе (3000 м), точечные кривые 4 и 5 – при условии постоянства внутриземного теплового потока (61 мВт/м²) на нижней границе; 6 – геотермические данные скважины № 3 (1971 г.)

На рис. 2 приведены начальная и конечные (через 200 тыс. лет) термограммы, рассчитанные для описанной выше модели изменения температуры земной поверхности по байкальской летописи и по Антарктиде. Видно, что термограмма, полученная при задании граничного условия I-го рода, в области талых горных пород практиче-

ски совпадает с современной термограммой (ср. кривые 2 и 3 с кривой 6) до подошвы мерзлоты.

Заключение

Расчеты показали, что положение нижней границы многолетнемерзлой толщи зависит и от выбранного сценария изменения палеоклимата, и от условий задания величины внутриземного теплового потока. Первый фактор смещает ее глубину примерно на 20–40 м, второй – на 70–90 м, однако во всех случаях вычисленные значения практически соответствуют современным результатам геотермических измерений на данной площади.

Результаты таких вычислений позволят моделировать и прогнозировать состояние природной среды, в том числе развитие экзогенных процессов, контролировать устойчивость инженерных сооружений, обеспечивая обоснованные проектные решения, в области развития нестационарных многолетнемерзлых толщ и в первую очередь для региона Вилюйской синеклизы.

Работа выполнена в рамках Комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН № II.1 «Междисциплинарные интеграционные исследования» на 2018–2020 гг. (проект – Палеореконструкция теплового поля и криолитозоны Вилюйской синеклизы в позднем плейстоцене-голоцене).

Список литературы / References

1. Семёнов В.П. Геотемпературное поле и криолитозона Вилюйской синеклизы: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.08. Якутск, 2018. 174 с.

Semenov V.P. Geotemperature field and cryolithozone of Vilyui syneclise: dis. ... kand. geol.-mineral. nauk: 25.00.08. Yakutsk, 2018. 174 p. (in Russian).

2. Антипин А.Н., Демежко Д.Ю., Горностаева А.А. Влияние фазовых переходов на результаты геотермических реконструкций плейстоцен/голоценового потепления // Уральский геофизический вестник. 2018. № 1 (31). С. 4–15. DOI: 10.25698/UGV.2018.1.1.04.

Antipin A.N., Demezhko D.Yu., Gornostaeva A.A. The influence of phase transitions on the geothermal reconstruction of pleistocene/holocene warming // Ural'skiy geofizicheskiy vestnik. 2018. No. 1 (31). P. 4–15 (in Russian).

3. Агаджанян А.К., Боярская Т.Д., Глушанкова Н.И., Судакова Н.Г., Фаустов С.С., Хорев В.С., Шлюков А.И. Разрез новейших отложений Мамонтова гора. М.: Изд. МГУ, 1973. 198 с.

Agadzhanyan A.K., Boyarskaya T.D., Glushankova N.I., Sudakova N.G., Faustov S.S., Khorev V.S., Shlyukov A.I. Section of the newest deposits of Mamontov Mountain. M.: Izd. MGU, 1973. 176 p. (in Russian).

4. Фотиев С.М. Геокриологические летописи Сибири // Криосфера Земли. 2009. Т. XIII. № 3. С. 3–16.

Fotiev S.M. Siberian geocryological chronicles // Kriosfera Zemli. 2009. Vol. XIII. № 3. P. 3–16 (in Russian).

5. Степанов А.В., Рожин И.И., Попенко Ф.Е. Расчет управления температурным режимом массива грунтов в основании здания // Инженерно-физический журнал. 2011. Т. 84. № 4. С. 867–872.

Stepanov A.V., Rozhin I.I., Popenko F.E. Controlling the temperature regime of the soil mass in the foundation of a building. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2011. Vol. 84. Issue 4. P. 940–946. DOI: 10.1007/s10891-011-0553-1.

6. Котляков В.М., Лориус К. Четыре климатических цикла по данным ледяного керна из глубокой скважины на станции «Восток» в Антарктиде // Известия РАН. Серия географическая. 2000. № 1. С. 7–19.

Kotlyakov V.M., Lorius K. Four climatic cycles according to ice core data from a deep well at Vostok station in Antarctica // Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya. 2000. № 1. P. 7–19 (in Russian).

7. Фотиев С.М. Геокриологические летописи России // Криосфера Земли. 2011. Т. XV. № 4. С. 9–14.

Fotiev S.M. Russian geocryological chronicles // Kriosfera Zemli. 2011. Vol. XV. № 4. P. 9–14 (in Russian).

8. Semenov V.P., Zheleznyak M.N., Kirillin A.R., Zhizhin V.I. Thermal conductivity of sedimentary rocks of the Leno-Vilyui oil-and-gas bearing province. Kriosfera Zemli. 2018. Vol. XXVII. № 5. P. 30–38. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2018-5(30-38).

9. Железняк М.Н., Семёнов В.П., Балобаев В.Т., Русаков В.Г. Мерзлотно-геотермические условия Вилюйской синеклизы // Материалы Четвёртой конференции геокриологов России (г. Москва, МГУ им. Ломоносова, 7–9 июня 2011 г.). М.: Университетская книга, 2011. С. 59–65.

Zheleznyak M.N., Semenov V.P., Balobaev V.T., Rusakov V.G. Permafrost-geothermal conditions of Vilyui syneclise // Materials of the Fourth Conference of Russian Geocryologists (Moscow, Lomonosov Moscow State University, June 7-9, 2011). M.: Universitetskaya kniga, 2011. P. 59–65 (in Russian).

10. Фотиев С.М. Криохроны и термохроны юга Сибири за последние 5 миллионов лет (палеогеокриологическая интерпретация результатов исследований донных осадков озера Байкал) // Криосфера Земли. 2005. Т. IX. № 1. С. 13–27.

Fotiev S.M. Cryochrons and thermochrons of southern Siberia over the past 5 million years (paleogeocryological interpretation of the results of studies of bottom sediments of Lake Baikal) // Kriosfera Zemli. 2005. Vol. IX. № 1. P. 13–27 (in Russian).

11. Семёнов В.П., Железняк М.Н. Особенности формирования геотемпературного поля и мощности многолетнемерзлой толщи Вилюйской синеклизы // Материалы Пятой конференции геокриологов России (г. Москва, МГУ им. Ломоносова, 14–17 июня 2016 г.). М.: Университетская книга, 2016. С. 229–233.

Semenov V.P., Zheleznyak M.N. Features of the formation of the geothermal field and thickness of the permafrost column of the Vilyui syneclise // Materials of the Fifth Conference of Russian Geocryologists (Moscow, Lomonosov Moscow State University, June 14–17, 2016). M.: Universitetskaya kniga, 2016. P. 229–233 (in Russian).

12. Семенов В.П., Железняк М.Н. Геотермические условия Вилюйской синеклизы // Криосфера Земли. 2013. Т. XVII. № 4. С. 3–10.

Semenov V.P., Zheleznyak M.N. Geothermal conditions in the Vilyui basin // Kriosfera Zemli. 2013. Vol. XVII. № 4. P. 3–10 (in Russian).

УДК 551.4:551.5(571.6)

МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ РОЛЬ КЛИМАТА В РАЗВИТИИ ПРИРОДНЫХ ЗОН И ПРОВИНЦИЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Скрыльник Г.П.

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, e-mail: skrylnik@tig.dvo.ru

Дальний Восток – северо-восточный край Азиатского материка, включая полуострова и острова от 42^0 до 72^0 с.ш. – исключительно разнообразен по происхождению и развитию рельефа. Его развитие неизменно проходило и проходит в условиях активного взаимовлияния суши и моря, главным образом через атмосферу (наиболее показательно – через зимнюю континентальность). Здесь, в обстановках различных климатов, полномасштабно выполняются условия максимально интенсивного экзогенного морфогенеза. Цель и задачи – характеристика дальневосточного климоморфогенеза на примере отдельных природных зон и провинций Дальнего Востока. Материалы и методы – использованы данные многолетних мерзлотно-геоморфологических исследований автора на Чукотке и о-ве Врангеля (1957–1959; 1971–1972 гг.), на низменностях (1974–1979) и в горах (2007–2011 гг.) юга Дальнего Востока, а также доступные литературные и фондовые источники по этому региону и его аналогам (Японии и Корейского полуострова). При анализе были применены сравнительно-географический и информационный методы. Основные выводы. Выполнен полный тематический анализ рельефа в зонально-провинциальном плане. Влияние материка на развитие рельефа на Дальнем Востоке отличается постоянством и сказывается, через возрастающую зимнюю континентальность. Выяснено, что общая тенденция развития рельефа природных зон и провинций Дальнего Востока в ближайшем будущем (мэллоцене) находится в прямой зависимости от наметившегося и направленно усиливающегося возрастания континентальности климата и регрессии моря. В антропогенных обстановках региона и его аналогов с аномальными процессами связано повышение вероятности геоэкологических рисков. Для сохранения нормативов рационального природопользования надо учитывать представленные разработки, с целью минимизировать возможные геоэкологические риски.

Ключевые слова: Дальний Восток, аналоги, природные зоны, провинции, климоморфогенез, континентальность, тенденции развития, природопользование

MORPHOGENETIC ROLE OF CLIMATE IN THE DEVELOPMENT OF NATURAL ZONES AND PROVINCES OF THE FAR EAST

Skrylnik G.P.

Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: skrylnik@tig.dvo.ru

The Far East is the northeastern edge of the Asian continent, including peninsulas and islands from 420 to 720 s.w. – extremely diverse in origin and development of the relief. Its development invariably took place and is taking place under conditions of the active interaction of land and sea, mainly through the atmosphere (most notably through winter continentality). Here, in the conditions of various climates, the conditions of the most intense exogenous morphogenesis are fully fulfilled. Goal and objectives – characterization of the Far East climomorphogenesis on the example of individual natural zones and provinces of the Far East. Materials and methods – the data of many years of permafrost-geomorphological studies of the author were used in Chukotka and Wrangel Island (1957-1959; 1971-1972), in the lowlands (1974-1979) and in the mountains (2007-2011) the south of the Far East, as well as available literary and stock sources for this region and its analogues (Japan and the Korean Peninsula). In the analysis, comparative geographical and information methods were applied. Main conclusions. A complete thematic analysis of the relief in the zonal-provincial plan is carried out. The influence of the mainland on the development of the relief in the Far East is constant and affects, through increasing winter continentality. It was found that the general tendency for the development of the relief of natural zones and provinces of the Far East in the near future (Mallocene) is directly dependent on the emerging and directionally increasing increase in climate continentality and sea regression. In anthropogenic environments of the region and its analogues, anomalous processes are associated with an increase in the probability of geoecological risks. To maintain environmental management standards, it is necessary to take into account the presented developments in order to minimize possible geoecological risks.

Keywords: Far East, analogues, natural zones, provinces, climomorphogenesis, continentality, development trends, nature management

Дальний Восток – северо-восточный край Азиатского материка вместе с островами (от 42^0 до 72^0 с.ш.) по общей площади суши занимает свыше 3,2 млн км^2, а площади омывающих ее морей – свыше 7 млн. км^2. В результате большой протяженности с севера на юг, он отличается большим разнообразием природных зон (арктические пустыни; тундра и лесотундра; тайга; широколиственные леса) [1]. При этом характерной особенностью широтной зональности является резкое смещение границ природных зон к югу [2]. Их уникальность дополнительно проявляется в зональной специфике островных вулканических экосистем Тихоокеанского подвижного пояса – в истоках формирования континентальной биосферы [3]. Особо необходимо отметить,

что и зональность криогенных образований на Дальнем Востоке отличается крайней неповторимостью [4, 5].

На всем российском Дальнем Востоке в первую очередь климат определяет прямо или опосредованно все зональные и провинциальные особенности его природы, в том числе и современную направленность экзогенного рельефообразования в разных морфоструктурных условиях. Именно с ним связаны секторальные отличия экзогенного морфогенеза как выражение противоречий между материковым и океаническим влиянием.

В статье на обширном фоне показан ряд особенностей дальневосточного климоморфогенеза, открывающих направление практического использования рельефа.

Цель исследования: характеристика дальневосточного климоморфогенеза на примере природных зон и провинций Дальнего Востока.

Материалы и методы исследования

Использованы данные многолетних исследований автора на Чукотке и о Врангеля (1957–1959; 1971–1972 гг.), на низменностях (1974–1979) и в горах (2007–2011 гг.) юга Дальнего Востока, а также доступные литературные и фондовые источники. При анализе были применены сравнительно-географический и информационный методы.

Результаты исследования и их обсуждение

Материки и океаны тесно связаны между собой многими формами трех мерных взаимодействий (специфическим обменом вещества и энергии – круговоротами литосферным, воды и биологическим; переносом тепла и влаги; водным миграционным потоком химических элементов), проявляющихся прямо или опосредованно через атмосферу, в рамках комплексной физико-географической оболочки. В пределах Дальнего Востока это проявляется главным образом в муссонной циркуляции – главном атмосферном процессе для умеренных широт этого региона. Мощность летнего муссона на юге Приморья составляет 2000 м, а к северу умеренного пояса заметно сокращается – до 1500 м. Следовательно, основная часть влаги, приносимая с востока летним муссоном, перехватывается восточными и южными наветренными склонами притихоокеанских гор. Поэтому рубеж, совпадающий в основном с высотными отметками (на юге в 2000 м и на севере в 1500 м), служит западной границей максимального обычного влияния океана на материк, где создаются ситуации океаничности. Зимний муссон вместе с западным переносом воздушных масс способствует созданию везде континентальных условий. Радиационные факторы, по сравнению с циркуляционными, в формировании климатических условий в широкой пограничной зоне «материк – океан» играют подчиненную роль. Таким образом, своеобразие климата рассматриваемой территории заключается в сезонном господстве континентальности или океаничности [1].

Если наиболее активный обмен веществом и энергией между материками и океанами осуществляется в их переходной полосе – важнейшей геофизической зоне, то здесь отмечается и наиболее динамичный уровень организации материи. Следовательно, напряженность экзогенного морфогенеза как в прошлом, так и сейчас на приморских территориях значительно выше, чем на внутриконтинентальных.

Результаты исследований многих геоморфологов указывают на наличие длительной тенденции роста дальневосточной суши, носящего поступательно-колебательный характер. На протяжении обозримого геоморфологического этапа взаимодействие суши и моря по-разному отражалось в рельефе природных зон и провинций Дальнего Востока: 1) высокое значение океанического влияния на рельефообразование; 2) равнозначность для рельефообразования эндогенных и экзогенных факторов и процессов, а для относительно коротких отрезков геологического времени – преобладание вторых над первыми; 3) результат действия гидрократических явлений (например, эвстатических колебаний) превышает отражение в рельефе геократических актов – неотектонических движений.

Во время преобладания материкового или океанического влияния на развитие рельефа отмечается активизация соответствующих им экзогенных процессов. В первом случае в ходе экзогенного морфогенеза активизируются аридные и мерзлотные процессы, а во втором – гумидные и гляциально-нивационные.

Рассмотренная многозональная территория российского Дальнего Востока нами подразделяется по признаку типизации сфер рельефообразующего влияния на него Азиатского материка и Тихого океана с его морями – 5 сфер попеременного (континентального – океанического) влияния по сезонам и 1 сфера преобладающего континентального в течение года (рис. 1).

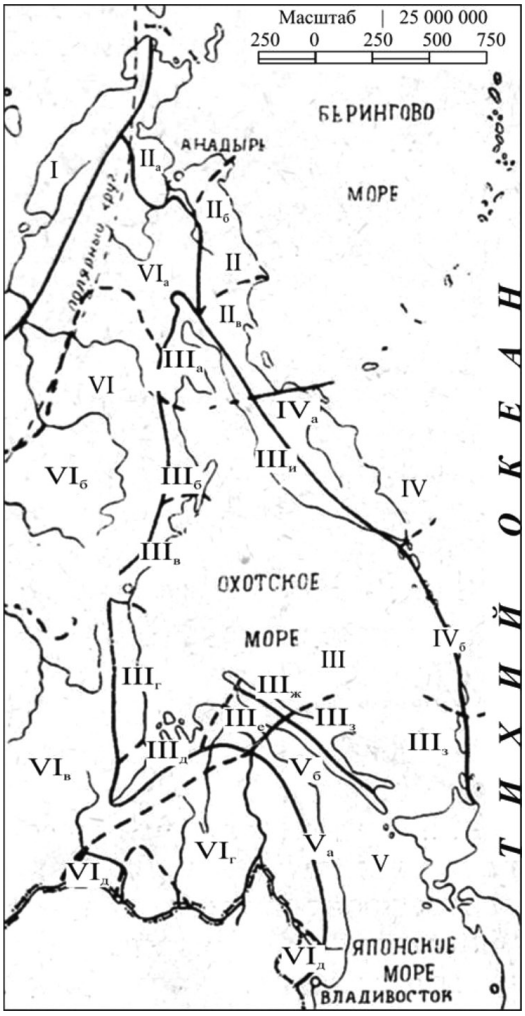


Рис. 1. Схематическая карта сфер зональных и провинциальных рельефообразующих континентально-океанических влияний (континента и морей Северного Ледовитого и Тихого океанов) на Дальнем Востоке. Составители: В.В. Никольская и Г.П. Скрыльник. Условные обозначения: I – Североморская сфера; II – Беринговоморская сфера (IIа – Чукотско-Анадырская; IIб – Корякская; IIв – Северо-Камчатская подсферы); III – Охотоморская (IIIа – Пенжино-Гижигинская; IIIб – Шелиховская; IIIв – Тауйско-Охотская; IIIг – Прибрежная Хребтовая; IIIд – Удско-Шантарская; IIIе – Лимано-Амурская; IIIж – Северо-Сахалинская; IIIз – Южно-Курило-Восточно-Сахалинская; IIIи – Западно-Камчатская); IV – Тихоокеанская (IVа – Восточно-Камчатская; IVб– Северо-Курильская); V – Япономорская (Vа – Материковая; Vб – Западно-Сахалинская); VI – сфера преобладающего континентального влияния (VIа – Тундровая; VIб – Северолесная субарктическая; VIв – Северолесная умеренного пояса; VIг – Южно-лесная умеренного пояса; VIд – Лесостепная подсфера). Составили: В.В. Никольская и Г.П. Скрыльник

На крайнем севере Дальнего Востока выделяется молодая по возрасту *«Североморская сфера рельефообразующего влияния (I)»*. В эту сферу включается значительная часть тундровой зоны, территория которой на большей своей протяженности находится под слабым влиянием молодых позднеледниковых морей Северного Ледовитого океана и под преобладающим воздействием континента. В результате мерзлотный рельеф распространяется вплоть до морского побережья. При этом в пределах Ванкаремской низменности сформировались полигоны нескольких генераций – от крупных до мелких (в поперечнике от 10 до 60 м) с сингенетичными ледяными жилами. Эрозионно-аллювиальный и фитогенный типы рельефа здесь являются как бы наложенными на единый мерзлотный рельеф, а их развитие носит сезонный и «островной» характер.

Высотная поясность проявляется в существовании закономерно построенного по вертикали сложного набора морфологически и генетически различных нивационных и мерзлотных микро- и мезоформ рельефа. Кроме того, она сказывается и в сохранении пятен унаследованного с плейстоцена ледовых его модификаций в крайних юго-восточных отрогах Экиатапского хребта (в ущельях, распадках, ледниковых карах) и в обширных вложенных понижениях на северо-восточном макросклоне горы Иультин (ближе к левому борту долины р. Амгуэмы), в Центральных горах о-ва Врангеля и в некоторых других горных районах.

В результате больших контрастов теплового режима в летнее и зимнее время года на рассматриваемой территории отмечается четкая сезонность экзогенного морфогенеза. Среди ведущих криогенных процессов рельефообразования выделяются мерзлотный крип, термокарст и морозобойное трещинообразование. Велика роль и наледеобразования.

По развитию рельефа в прошлом и настоящем в связи с особенностями климата о. Врангеля занимает промежуточное положение между внутриматериковыми и прибрежными территориями тундровой зоны Чукотки.

«Беринговоморская сфера рельефообразующего влияния (II)» подразделяется на три подсферы – IIа, IIб (относительно молодых) и IIв (более древней).

Ведущими рельефообразующими процессами в Чукотско-Анадырской подсфере (IIа) сейчас является термокарст, морозо-

бойное трещинообразование и солифлюкция. Велико значение в этом отношении и курумовых процессов, для которых в последние десятилетия характерно не только направленное возрастание интенсивности, но и расширение арены действия вплоть до морского побережья (например, в районах залива Креста, бухты Провидения и др.). При этом, несмотря на то, что в пределах обширных низменных пространств термокарст развивается довольно интенсивно, его нельзя рассматривать как признак деградации вечной мерзлоты [6]. Значительные коррективы в развитие вечной мерзлоты (по пути ее в частичную деградацию) в пределах арктической тундры (рис. 2) вносят антропогенные факторы [7].

Для большей площади *Корякской подсферы* (IIб) на обширных территориях равнинных и низкогорных пространств в прибрежной и континентальной ее части, в связи с ослабленным морским влиянием регрессивного моря в период максимума плейстоценового похолодания, было и продолжается характерное интенсивное мерзлотное рельефообразование. В то же время Корякский хребет – существенный центр интенсивного развития ледового и ледникового рельефа.

В *Северо-Камчатской подсфере* (IIв) роль мерзлотных факторов в современном рельефообразовании примерно одинакова с нивационными и гляциальными.

Рис. 2. Общий вид арктической тундры. Бассейн правобережья среднего течения р. Анадырь (июль 1972 г.). Фото автора

Территории, тяготеющие к побережью Охотского моря, находятся в *Охотоморской сфере рельефообразующего влияния* (III). Здесь так же, как и в примыкающих к ним на западе внутриконтинентальных территориях, в плейстоцене выявлялась тенденция доминирующего развития экзогенного рельефа по криогенному пути. В отличие от более северных территорий здесь одновременно отмечалось почти полное отсутствие ледового рельефообразования.

Охотоморская сфера, несмотря на широкое развитие вечной мерзлоты (от сплошного на севере до островного на юге) и активного криогенного рельефообразования, в той или иной форме характеризовалась значительным морфогенетическим эффектом нивационых процессов, которые еще преобладали над мерзлотными, но уже наметилась тенденция к их подавлению последними. Кроме того, в отличие от Североморской (I) и Беринговоморской (II) сфер, где озерный морфолитогенез протекает на термокарстовой основе, в материковых подсферах Охотоморской сферы (III) он имеет древнелагунное происхождение и сочетается с аллювиально-устьевым и морским процессами. Кроме того, нагоны, приливы и волнения в развитии рельефа побережья имеют здесь существенное значение.

В Охотоморской сфере выделяются девять подсфер, отличающихся между собой яркими чертами специфичности.

Отличительным для *Пенжино-Гижигинской* подсферы (IIIа) является подавление нивационных процессов мерзлотными и существенное морфолитогенетическое значение длительной (в течение большей части года) ледовитости моря и исключительно высоких приливов. Так, в вершине Пенжинской губы высота приливной волны, входящей со стороны залива Шелихова, возрастает от 10–11 м до 13,9 м (максимальной величины для устьев рек России и одной из самых больших в мире), а Гижигинской – до 9,5 м. В дождливые годы приливы и отливы бывают выше, чем в засушливые месяцы, а скорости составляют 5 м/час. Особенности Пенжинской и Гижигинской губ проявляются и в том, что они глубоко вдаются в материк (первая – на 306 км, со средней шириной около 63 км и с глубинами до 62 м; вторая – на 148 км, при ширине у ее входа в 260 км и максимальной глубине 88 м). Показательно, что значительные приливные колебания уровня и сильные приливные течения препятствуют образованию сплошного льда [1, 8].

Сходные черты приливо-отливной и ледовой обстановки в море имеет *Шелиховская подсфера* (IIIб), но нивационное рельефообразование здесь заметно активизируется, хотя и уступает по своему эффекту мерзлотному.

В *Тауйско-Охотской* (IIIв) и *Прибрежной Хребтовой* (IIIг) подсферах отмечается

равнозначное участие в рельефообразовании нивационых и мерзлотных факторов и процессов. Кроме того, для этих подсфер характерно большое значение прибрежно-морских и эрозионно-аллювиальных процессов.

В *Удско-Шантарской подсфере* (IIIд) на фоне преобладания нивации над мерзлотной нивелировкой горных склонов и равнин велика роль фитогенного рельефообразования, а также соответствующего эффекта от нагонных и ледовых явлений в прибрежной полосе.

Нагонные явления также сильно сказываются в *Лимано-Амурской подсфере* (IIIе), где, кроме того, весьма значительна морфогенетическая роль эоловых процессов, действующих на литомассы в теплый сезон и преимущественно на хиономассы – в холодный.

В *Северо-Сахалинской подсфере* (IIIж) на общие (во всей сфере) характерные черты наложено воздействие холодного Сахалинского течения, приводящее к большой изменчивости температур воздуха, относительно низких в летнее время. Более того, в результате незначительной мощности снежного покрова (до 30 см) здесь наблюдается островная вечная мерзлота, отмечается глубокое промерзание почво-грунтов и в жестких зимних температурных условиях активизируются мерзлотные процессы.

В *Южно-Курило-Восточно-Сахалинской подсфере* (IIIз) в зимнее время, в связи с сильным влиянием Тихого океана, наложенным на более слабое влияние при длительной ледовитости Охотского моря, на Сахалине возникает максимальная снежность, и в рельефообразовании устойчиво преобладают связанные с этим нивационные процессы. В теплое полугодие рельеф формируется в обстановке повышенного увлажнения грунтов и частых ливней, часто вызывающих сход селей [9].

В Западно-Камчатской подсфере (IIIи), которая находится на пути морских циклонов, зимой в ее пределах возникают относительно усиленные нивационные процессы, но мерзлотные явления в годовом суммарном результате для экзогенного рельефообразования более значительны.

Тихоокеанская сфера рельефообразующего влияния (IV) имеет две подсферы: Восточно-Камчатскую (IVа) и Северо-Курильскую (IVб). Территории этих подсфер, находившиеся под сильным влиянием непосредственно Тихого океана, в плейстоцене на большей своей части подверглись полупокровному оледенению. Максимальное развитие современных ледников относится к середине XIX в. Вечная мерзлота небольшой мощности встречается в виде редких островов [6].

Текущее развитие геосистем (IVа) происходит в условиях активного вулканизма и повышенной сейсмичности на общем фоне взаимодействия противоборствующих континентальных и океанических влияний.

Катастрофические извержения вулканов, сопровождаясь излиянием лав и масштабными выбросами пепла и камней, вызывают разрушение соседних геосистем, а на удалении – существенное нарушение их организации (рис. 3) [1, 10]. Геоэкологические риски (в частности, в Авачинской бухте) отмечаются часто в теплый период года и контролируются сезонным временем выпадения вулканического пепла и постоянно поддерживаются сбросом сточных вод.

Вновь наступающее похолодание и регрессия моря устанавливаются нашими исследованиями (на о. Врангеля, Чукотке, материковом побережье Охотского моря и др.) и материалами других авторов по Курильским о-вам и о. Сахалину.

В отличие от Североморской, Берингоморской и Охотоморской сфер, где продолжает проявляться тенденция развития экзогенного рельефа по пути нового нарастания интенсивности мерзлотного рельефообразования, в Тихоокеанской сфере (на *Камчатке* и *Курилах*) по территории отмечаются различные процессы. Из-за противоречивых территориальных эффектов проявления «континентальности – океаничности», в Восточно-Камчатской подсфере в отдельных районах (в группе Авачинской и Ключевской сопок) будет отмечаться нарастание площади ледников, а на остальной территории усилится мерзлотный морфогенез; в Северо-Курильской подсфере (IVб) – усилится нивационный.

Курильские острова (IVб) входят в Тихоокеанское вулканическое огненное кольцо, и здесь отмечается постоянная опасность землетрясений, цунами, штормовых нагонов и тайфунов. Так, землетрясение 13 октября 1963 г. на островах Уруп и Итуруп вызвало 4,5 м волну цунами. В общем же, здесь отмечаются волны с различным максимальным подъемом уровня – свыше 23 м 1 раз в 100–200 лет; 8–23 м 1 раз в 50–100 лет; 3–8 м 1 раз в 20–30 лет; 1–3 м 1 раз в 10 лет. Штормовые нагоны наблюдаются на открытых участках преимущественно Тихоокеанского побережья, где они достигают по высоте 2–4 м [1, 10].

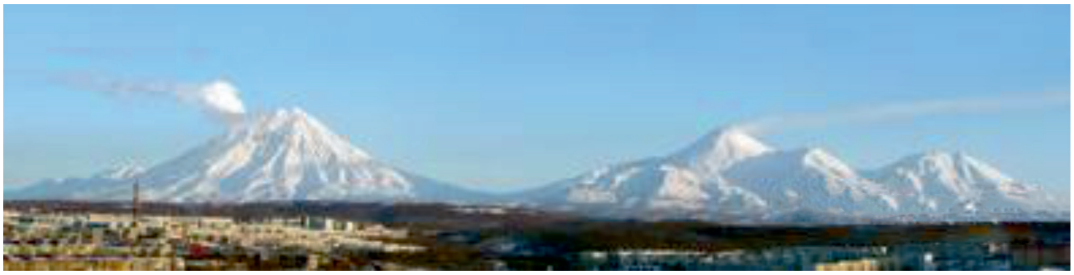


Рис. 3. «Домашние» вулканы (слева направо): активные Корякский (3456 м) и Авачинский (2741 м); потухший Козельский (2190 м); вид со стороны г. Петропавловска-Камчатского. Фото А.П. Пирагис / http://www.piragis.ru

На Курильских островах(IVб) насчитывается 68 надводных вулканов. Среди них действующих (активных) и потенциально активных всего 37 [11]. Среди них выделяется вулкан Алаид (рис. 4). Последний раз вулкан слабо извергался в виде эксплозивного (взрывного) типа 23 августа 1997 г.

Также Курильские острова, как и о. Сахалин, регулярно, по несколько раз в год «накрывают» мощные тихоокеанские тайфуны. Один из них – «Хагибис», отмечался 13.10.2019 г. Его наибольшее климатическое воздействие проявилось на юге Курильских островов, где отмечались мощнейшие ливни и ураганный ветер (до 33 м/с). С ливнями были связаны выход рек из берегов, подтопление территорий и оползни [10].

Рис. 4. Вулкан Алаид – действующий, на острове Атласова Большой Курильской гряды; самый северный и самый высокий (2339 м) вулкан Курильских островов. Возраст 40–50 тыс. лет. Формы Алаида даже более правильные, чем у знаменитого вулкана Фудзи, хотя последний гораздо выше его. Склоны покрыты зарослями кустарниковой ольхи и высоким разнотравьем. Фото И. Вайнштейна

Япономорская сфера рельефообразующего влияния (V) подразделяется нами на две подсферы: Материковую (Va) и Западно-Сахалинскую (Vб). Своеобразие этой сферы определяется наиболее четким на Дальнем Востоке проявлением муссонного климата и цунамиопасности [1, 10].

В Материковой подсфере (Va) «спектр» аномальных явлений очень широк. В *континентальных районах* – ливни и наводнения (катастрофические смывы пахотного слоя почв и интенсивные размывы пойменных участков), обвалы и оползни, пожары и эрозия и т.д.; в *прибрежных районах* – ливни и наводнения, шторма и штормовые нагоны, абразия и цунами (размыв аккумулятивных форм и абразионных участков, изменения береговой линии, разрушение причалов и других сооружений), обвалы и оползни.

Наиболее цунамиопасная зона отмечается в юго-восточной, центральной и северной частях *Приморья*. Здесь высота волн цунами составляет в среднем 2,5–5,0 м. На берегах Японского моря за последние 2.5 тыс. лет, по историческим данным, зарегистрировано 17 крупных цунами. В XX веке отмечено 5 случаев цунами (Приморье – 1.08.1940; 16.10.1964; 5.09.1971; 26.05.1983; 13.07.1993 гг.), вызванных подводными мелко- и глубокофокусными землетрясениями у побережья Японии. Максимальные геоэкологические риски связаны с наводнениями и прохождением цунами.

Морфогенетические последствия воздействий цунами (например, на побережье зал. Петра Великого в 1983 г. и 1993 г.г.) показаны на рис. 5.

Эффекты от цунами в мае 1983 и летом 1993 г., повлекшие значительное изменение ландшафтов, значительно превзошли последствия катастрофических штормов, наблюдавшихся в 1962–1993 гг. [10].

На всей территории Приморья сказывается экстремальное (до катастрофического) воздействие тайфунов. По данным метеорологических наблюдений, акватория Японского моря и прилегающие террито-

рии Приморья с 1951 по 2010 г. подвергалась воздействию тропических циклонов около 150 раз (в июле 1989 г. – «Джуди»; в сентябре 1994 г.), вызывавших обширные наводнения и многочисленные оползни на склонах.

Западно-Сахалинская подсфера (Vб) в холодное полугодие характеризуется высокой значимостью в рельефообразовании дефляционных и нивационных процессов. Эти процессы усугубляются антропогенным вмешательством (сведением лесов во времена японской оккупации), что вызвало забамбучивание склонов и в свою очередь создало благоприятные условия для схода лавин.

Материковая часть Дальнего Востока, граничащая на востоке с выделенными выше сферами влияния морей и Тихого океана, характеризуется развитием рельефа преимущественно по континентальному пути. Эта часть нами определена как *Сфера преобладающего континентального влияния (VI)*. По закону широтной зональности эта сфера подразделяется на 5 подсфер: *Тундровую, Северолесную субарктическую, Северолесную умеренного пояса, Южнолесную умеренного пояса и Лесостепную*.

В пределах этих подсфер наиболее четко проявляется наметившееся и направленно усиливающееся возрастание континентальности климата. Морфогенетическое ее выражение сказывается в появлении новых мерзлотных форм рельефа. Морфогенетический эффект нивации здесь невелик. По особой специфике выделяются две последние подсферы.

В *Южнолесной подсфере* (VIг) с голоцена и по настоящее время рельефообразование протекает по гумидному пути. В плейстоцене площадь подсферы сокращалась за счет расширения аридных областей. С эрозионно-аллювиальными, склоновыми, фитогенными и другими рельефообразующими процессами в холодное и теплое полугодие активно сочетались и сочетаются мерзлотные, а нивационные играли подчиненную роль. В будущем такие тенденции, по-видимому, определятся более четко. Антропогенные природные обстановки в настоящее время отличаются своей спецификой (в частности, почвенные и климатические ресурсы Хабаровского края соответствуют биологическим требованиям широкого спектра сельскохозяйственных культур) [12].

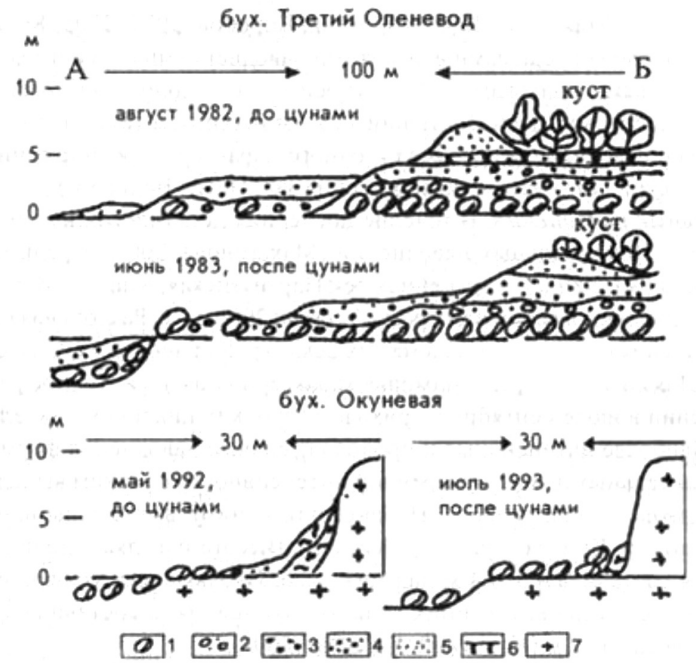


Рис. 5. Последствия воздействий цунами (1983 и 1993 гг.) на побережье зал. Петра Великого. Условные обозначения: 1 – валуны; 2 – галька с песком; 3 – гравий; 4 – песок с гравием; 5 – песок; 6 – почва; 7 – коренные породы. Составили А.М. Короткий и Г.П. Скрыльник

В *Лесостепной подсфере* (VIд) преобладает гумидное рельфообразование на фоне малой морфогенетической значимости нивации и сезонных мерзлотных процессов, а в сухие сезоны – усиление и эоловых процессов.

В целом пространственный рисунок географической зональности и провинциальности на Дальнем Востоке является субмеридиональным (в отличие от большей части Евразии – районов Западной Европы, Русской равнины, Западно-Сибирской низменности и Средней Сибири – по развитию субширотного плана). Схожий приведенный «субмеридиональный» рисунок характерен и горам Восточной Сибири.

Дальневосточные аналоги

По соседству с российскими территориями Дальнего Востока соседствуют его *аналоги* – районы Японии и Корейского полуострова. В связи с этим уместно будет, хотя бы в самых общих чертах привести характеристики для сравнения основных черт природной организации и возникающих экологических проблем на российском Дальнем Востоке и в этих регионах – Японии и Корейского полуострова (Северной Кореи и Кореи).

Япония входит в систему островных дуг, окаймляющих Азию с востока. В их природе сочетаются континентальные и островные черты. Близость материковой Азии отразилась на формировании и характере органического мира. Материк оказывает существенное влияние и на климатические условия. С другой стороны, островное положение и большая тектоническая подвижность существенно сказались на особенностях рельефа и климата Японии. Поэтому в ее природе совмещаются черты, свойственные соседним районам Корейского полуострова, и свои черты, специфически островные и специфически японские [13]. Поскольку территория Японии сильно вытянута с севера на юг, то в ее пределах хорошо выражена широтная зональность, а горный рельеф создает условия для развития высотной поясности.

Япония на протяжении всей своей истории страдает от природных катаклизмов. На территории страны находится более 100 действующих вулканов (рис. 6). Каждое пятое землетрясение мощнее 6 баллов происходит именно в Японии.

При общем анализе выявляется, что серьезные экологические проблемы в регионе связаны с проявлением катастрофических процессов: землетрясениями, вулканической деятельностью (с извержением лавы и выбросом каменных глыб и сильных пеплопадов), наводнений и особенно цунами [14].

Рис. 6. Гора Фудзи – действующий вулкан (высота 3776 м). На переднем плане отмечаются с/х угодья, выше расположены хвойно-широколиственные листопадные, а еще выше на склонах вулкана – хвойные таежные леса. Автор неизвестен

Максимальная экологическая напряженность отмечается в районах Тихоокеанского побережья южнее Токио и побережья Внутреннего моря. Здесь проявляются наиболее острые экологические проблемы Японии – оседание грунтов (местами более 4 см в год), связанное с высокоэтажным строительством, наличием насыпных грунтов на площади более четверти побережий и интенсивным использованием грунтовых вод [13, 14].

Корейский полуостров. Обширная и сложно построенная территория расположена в юго-восточной, притихоокеанской части умеренного пояса Евразии с ярко проявляющейся муссонной циркуляцией, а также с развитием глыбового рельефа на сильно переработанных докембрийских и палеозойских структурах.

На климатические условия региона окружающие территории и близость Тихого океана оказывают большее влияние, чем широта. В настоящее время на Корейском полуострове леса растут преимущественно только в горах (хвойные и хвойно-широколиственные); местами на низменностях произрастают широколиственные породы [13].

Экологическая напряженность в регионе связана с проявлением экстремальных и катастрофических процессов (тайфунов, аномального выпадения атмосферных осад-

ков, наводнений, землетрясений). Степень цунамиопасности здесь везде невысокая.

Наиболее серьезные экологические проблемы на всей территории региона вызываются сильным загрязнением поверхностных вод, почв и воздуха. С этим связано существенное угнетение растительности на большей части территории [15].

Заключение

Рельеф Дальнего Востока, расположенного на краю самого крупного материка и величайшего океана Земли – крупнейших структур комплексной физико-географической оболочки, несет на себе яркий отпечаток сложного и противоречивого их взаимодействия, осуществляемого главным образом через атмосферу. В результате диагенетического или унаследованного рельефообразования, протекающего в этих условиях, возникает климоморфогенез. Именно он придает черты единообразия рельефу в однородных климатах и создает зоны дифференциации на границах и в рамках разных климатических влияний. Влияние материка на развитие рельефа на Дальнем Востоке отличается постоянством и сказывается через возрастающую зимнюю континентальность.

Смена океанического или континентального влияния, определяющих сезонный и многолетний ход развития экзогенного рельефа, получает четкое морфогенетическое выражение, подчиняющееся законам географической зональности и провинциальности природы. Эта тенденция выражается:

а) в общем усилении на материковой территории, острове Врангеля, севере и западе Камчатки и севере Сахалина мерзлотной составляющей экзогенного морфогенеза и в резком снижении здесь эффекта нивационных процессов;

б) в расширении площади ныне существующих, частично деградирующих, и в возникновении новых ледников, и в усилении нивационного морфогенеза на Курилах и востоке Камчатки.

В настоящее время, в условиях вышеописанной природно-климатической ситуации, активизируются типичные и возникают новые аномальные (экстремальные – критические и кризисные, а также катастрофические) процессы. В антропогенных обстановках пороговые уровни аномальных процессов заметно снижаются, сближаясь с уровнями типичных и вызывая повышение вероятности геоэкологических рисков [10].

Юг российского Дальнего Востока имеет много общего с его южными аналогами (Японией и Корейским полуостровом) в организации геосистем и в тенденциях их развития. Особенно много общего в области экстремального и катастрофического хода морфогенеза (из-за повышенной сейсмичности, вулканической деятельности, наводнений, селей и т.д.).

Для рационального природопользования в пределах регионов должны быть учтены представленные разработки, с целью минимизировать возможные геоэкологические риски.

Список литературы

1. Геосистемы Дальнего Востока России на рубеже XX–XXI веков: в 3 т. Т. I. Природные геосистемы и их компоненты / отв. ред. С.С. Ганзей. Владивосток: Дальнаука, 2008. 428 с.

Geosistemy of the Far East of Russia at the turn of the XX-XXI centuries: in 3 v. V. I. Natural geosystems and their components / otv. red. S.S. Ganzey. Vladivostok: Dalnauka, 2008. 428 p. (in Russian).

2. Волкова И.Н., Горте Ю.Д., Лукьянова Е.И., Рыкова В.В., Шевцова Э.Ю. Природа и природные ресурсы Сибири и Дальнего Востока, их охрана и рациональное использование / научн. ред. Н.Н. Лащинский, В.М. Савкин, А.И. Сыко. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2017. 330 с.

Volkova I.N., Gorte Yu.D., Lukyanova E.I., Rykova V.V., Shevtsova E.Yu. Nature and natural resources of Siberia and the Far East, their protection and rational use / nauchn. red. N.N. Lashchinskiy, V.M. Savkin, A.I. Syko. Novosibirsk: GPNTB SO RAN, 2017. 330 p. (in Russian).

3. Коломыц Э.Г., Сурова Н.А. Островные вулканические экосистемы в Тихоокеанском подвижном поясе как истоки формирования континентальной биосферы // Успехи современной биологии. 2018. Т. 138. № 1. С. 31–56. DOI: 10.7868/S0042132418010040.

Kolomyts E.G., Surova N.A. Island volcanic ecosystems in the Pacific mobile belt as the sources of the formation of the continental biosphere // Successes in modern biology. 2018. V. 138. № 1. P. 31–56 (in Russian).

4. Алексеев В.Р. Криогенная опасность в природе Земли // Наука и техника в Якутии. 2017. № 1 (32). С. 1–17.

Alekseev V.R. Cryogenic hazard in the nature of the Earth // Nauka i tekhnika v Yakutii. 2017. № 1 (32). P. 1–17 (in Russian).

5. Бедрицкий А.И. Устойчивое развитие Арктической зоны Российской Федерации и климатические аспекты экологической и гидрометеорологической безопасности // Энергетическая политика. 2018. № 4. С. 3–10.

Bedritsky A.I. Sustainable development of the Arctic zone of the Russian Federation and climatic aspects of environmental and hydrometeorological safety // Energy Policy. 2018. № 4. P. 3–10 (in Russian).

6. Скрыльник Г.П. Термокарст как фактор разрушения и созидания в развитии геосистем юга Средней Сибири и Дальнего Востока // Успехи современного естествознания. 2018. № 11–2. С. 425–436.

Skrylnik G.P. Thermokarst as a factor of destruction and creation in the development of geosystems in the south of Central Siberia and the Far East // Advances in current natural sciences. 2018. № 11–2. P. 425–436 (in Russian).

7. Скрыльник Г.П. Наледи как особая форма малого оледенения и их роль в развитии геосистем Чукотки и Приморья // Успехи современного естествознания. 2018. № 9. С. 83–92. DOI: 10.17513/use.36871.

Skrylnik G.P. Ice cover as a special form of small glaciation and their role in the development of the geosystems of Chukotka

and Primorye // Advances in current natural sciences. 2018. № 9. P. 83–92 (in Russian).

8. Навигационно-географический очерк. Лоция Охотского моря. Выпуск 2. Северная часть моря. М.: ГУНиО МО СССР, 1976. 272 с.

Navigation and geographical sketch. Lotsiya of the Sea of Okhotsk. Issue 2. The northern part of the sea. M .: GUNiO MO SSSR, 1976. 272 p. (in Russian).

9. Рыбальченко С.В. Динамика развития склоновых селевых бассейнов на морских террасах о. Сахалин: автореф. дис. … канд. геогр. наук. СПб., 2018. 24 с.

Rybalchenko S.V. Dynamics of the development of slope mudflow basins on the marine terraces of Fr. Sakhalin: avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk. SPb., 2018. 24 p. (in Russian).

10. Скрыльник Г.П. Аномальные природные процессы и явления российского Дальнего Востока // Успехи современного естествознания. 2018. № 10. С. 114–124. Р. 114–124. DOI: 10.17513/use.36892.

Skrylnik G.P. Anomalous natural processes and phenomena of the Russian FarEast // Advances in current natural sciences. 2018. № 10. P. 114–124 (in Russian).

11. Атлас Курильских островов / Отв. ред.-картограф Е.Я. Фёдорова. Российская академия наук. Институт географии РАН. Тихоокеанский институт географии ДВО РАН. М.-Владивосток: ИПЦ «ДИК», 2009. 516 с.

Atlas of the Kuril Islands; Editorial / Otv. red.-kartograf E.Ya. Fedorova. Rossiyskaya akademiya nauk. Institut geografii RAN. Tikhookeanskiy institut geografii DVO RAN. M.-Vladivostok: IPTS «DIK», 2009. 516 p. (in Russian).

12. Асеева Т.А., Баблюк Е.В., Чернышев Н.И. Оценка природных ресурсов Хабаровского края для сельскохозяйственного использования // Дальний Восток. Проблемы развития архитектурно-строительного и дорожнотранспортного комплекса: материалы Международной научно-практической конференции (г. Хабаровск, 17–19 октября 2017 г.). Хабаровск, 2017. С. 167–171.

Aseeva T.A., Bablyuk E.V., Chernyshev N.I. Assessment of the natural resources of the Khabarovsk Territory for agricultural use // Dal'niy Vostok. Problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo i dorozhnotransportnogo kompleksa: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Khabarovsk, 17–19 oktyabrya 2017 g.). Khabarovsk, 2017. P. 167–171 (in Russian).

13. Зарубежная Азия. Физическая география. М., 1956. 606 с.

Overseas Asia. Physiography. M., 1956. 606 p. (in Russian).

14. Япония. Природные катастрофы и климатические реалии сегодня. [Электронный ресурс]. URL: https://geocenter.info/article/japan-prirodnye-katastrofy (дата обращения: 14.11.2019).

Japan. Natural disasters and climate realities of today. [Electronic resource]. URL: https://geocenter.info ›article› japan-prirodnye-katastrofy (date of access: 14.11.2019) (in Russian).

15. Природные опасности стран Азии. [Электронный ресурс]. URL: https://www.mir-geo.ru › aziya › geogr › prir-opas (дата обращения: 14.11.2019).

Natural hazards of Asian countries. [Electronic resource]. URL: https://www.mir-geo.ru ›aziya› geogr ›prir-opas (date of access: 14.11.2019) (in Russian).

УДК 551.34:622.023.623:621.396.96

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОН ПОВЫШЕННОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВА МЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Соколов К.О.

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск, e-mail: k.sokolov@ro.ru

Наличие трещин в массиве мерзлых горных пород существенно влияет на физико-механические свойства горных пород, которые необходимо учитывать как при планировании добычных работ, так и при строительстве горнотехнических сооружений. В настоящее время существуют различные методы изучения трещиноватости массива мерзлых горных пород, для большинства из них необходимо наличие обнажений, на которых возможно наблюдение трещиноватости. Метод георадиолокации успешно используется при изучении строения массива горных пород криолитозоны и позволяет исследовать трещины в подповерхностных слоях горных пород. Критерии выявления трещин по особенностям волновых георадиолокационных полей известны, основной проблемой является высокая трудоемкость процессов обработки и интерпретации данных георадиолокационных измерений. Для решения этой проблемы необходима автоматизация определения наличия признаков трещин массива мерзлых горных пород в данных георадиолокации. В статье предлагается способ обработки данных, основанный на расчете аргумента (α) комплексного числа, действительной и мнимой частью которого являются амплитудные значения двух соседних георадиолокационных трасс. По значениям α возможно выделение участков не только с явными трещинами ($\alpha \approx -\pi/2$), но и трещин, размеры которых значительно меньше первой зоны Френеля используемого георадара ($\alpha \approx -\pi/4$). В положительном диапазоне значений α, интервал в некоторой окрестности π/4, говорит о наличии горизонтальных осей синфазности, не имеющих каких-либо значительных искажений. Разработанный подход также позволяет выявлять пликативные нарушения, отличающиеся группировкой отрицательных значений α, имеющих горизонтальный характер расположения. В статье описаны алгоритмы выявления дизъюнктивных и пликативных нарушений. Разработанные алгоритмы существенно сократят временные затраты на обработку и интерпретацию данных, что позволит расширить область применения георадиолокации в интересах не только науки, но и недропользователей на стадиях доразведки и эксплуатационной разведки месторождений полезных ископаемых криолитозоны.

Ключевые слова: трещина, массив горных пород, криолитозона, георадиолокация, обработка данных

GPR DATA INTERPRETATION FOR DETERMINATION OF THE FRACTURED ZONE OF THE FROZEN ROCK MASSIF

Sokolov K.O.

Mining Institute of the North SB RAS, Yakutsk, e-mail: k.sokolov@ro.ru

The presence of cracks in the massif of frozen rocks significantly affects the physical and mechanical properties of rocks, which must be taken into account both when planning mining operations and during the construction of mining structures. Currently, there are various methods for studying the fracturing of an array of frozen rocks, for most of them it is necessary to have outcrops on which the observation of fracturing is possible. The GPR method has been successfully used to study the structure of the rock mass of the permafrost zone and allows us to investigate cracks in the subsurface layers of rocks. Criteria for detecting cracks by the characteristics of wave GPR fields are known, the main problem is the high complexity of the processing and interpretation of GPR data. To solve this problem, it is necessary to automate the determination of the presence of signs of cracks in an array of frozen rocks in the GPR data. The article proposes a data processing method based on the calculation of the argument (α) of a complex number, the real and imaginary part of which are the amplitude values of two adjacent GPR paths. According to the values of α, it is possible to identify areas not only with obvious cracks ($\alpha \approx -\pi / 2$), but also cracks whose dimensions are much smaller than the first Fresnel zone of the GPR used ($\alpha \approx -\pi / 4$). In the positive range of values of α, an interval in a certain neighborhood of π / 4 indicates the presence of horizontal in-phase axes that do not have any significant distortions. The developed approach also makes it possible to detect plicative abnormalities that differ in the grouping of negative α values having a horizontal arrangement. The article describes algorithms for detecting disjunctive and plicative disorders. The developed algorithms will significantly reduce the time spent on processing and interpreting data, which will expand the scope of GPR in the interests of not only science but also subsoil users at the stages of additional exploration and operational exploration of mineral deposits in the permafrost zone.

Keywords: crack, rock massif, cryolithozone, GPR, data processing

Наличие трещин в массиве мерзлых горных пород существенно влияет на физико-механические свойства горных пород, которые необходимо учитывать как при планировании добычных работ, так и при строительстве горнотехнических сооружений. В настоящее время существуют различные методы изучения трещиноватости массива мерзлых горных пород, однако для большинства из них необходимо наличие обнажений, на которых возможно наблюдение трещиноватости. Изучение трещиноватости в естественном залегании возможно с помощью

геофизических методов [1]. В подповерхностных слоях горных пород для выявления трещин возможно использование метода георадиолокации, позволяющего изучать строение массива мерзлых горных пород на глубину до 30 м. В настоящее время разработано несколько методик выявления трещин по данным георадиолокационных измерений [2–4], также проведены исследования по изучению трещин в зданиях [5] и льдах [6], однако они не позволяют в полной мере раскрыть потенциал метода георадиолокации в силу ограниченности возможностей их применения.

Существенно лучше развито соответствующее программно-методическое обеспечение в сейсморазведке, позволяющее выявлять и прослеживать разрывные нарушения и разломы полуавтоматически [7] автоматически для 2D [8] и 3D [9] данных сейсморазведки. Существуют методики, основанные на использовании математического аппарата цифровой обработки сигналов [10], особенностей параметров сейсмических данных [11], методов искусственного интеллекта [12]. Применение указанных методов для обработки данных георадиолокации недостаточно эффективно из-за более сложного строения волнового поля по сравнению с данными сейсморазведки. Данный недостаток одновременно является и достоинством, так как георадиолокация позволяет с большой точностью изучать распределение трещин в массиве мерзлых горных пород.

Цель исследования: разработать способ анализа волновых полей, позволяющий определять наличие признаков трещин массива мерзлых горных пород по данным георадиолокационных измерений для решения проблемы автоматизированного выявления трещин.

Материалы и методы исследования

Индикационные признаки трещин рыхлых отложений криолитозоны [13] установлены в рамках выполнения проекта РФФИ № 15-45-05119:

1) потеря корреляции осей синфазности георадиолокационных сигналов;

2) смещение осей синфазности по вертикали;

3) изменение угла наклона осей синфазности;

4) аномальными амплитудными значениями ограниченных вертикальными плоскостями;

5) смещение спектральных характеристик георадиолокационных сигналов в сторону низких частот.

Если георадиолокационные измерения проведены в непрерывном режиме, то признаки 1–4 отображаются в виде изменения амплитудных значений сигналов при отслеживании их вдоль профиля на фиксированном времени задержки сигналов. Результаты георадиолокационных измерений в дискретном режиме с шагом 1 м и более не позволяют использовать амплитудные значения сигналов в качестве индикаторов трещин, так как амплитуды сигналов соседних трасс могут значительно отличаться.

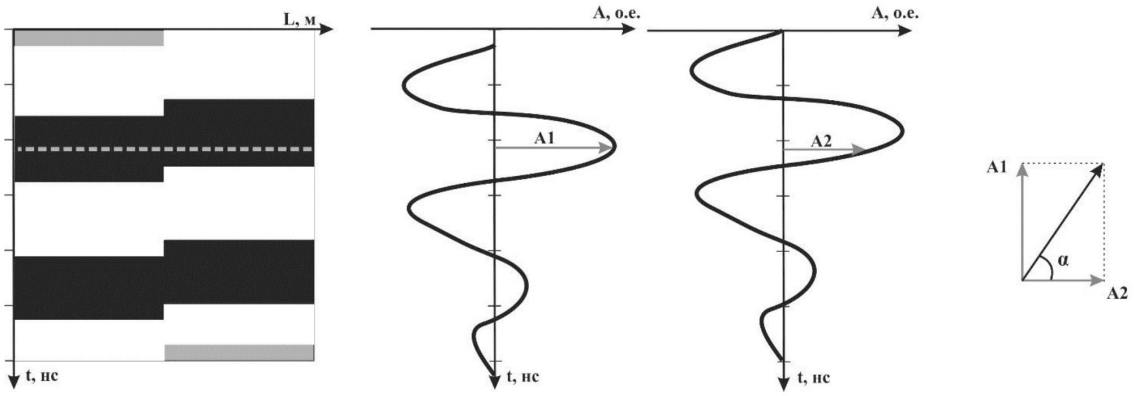
Рассмотрим случай с вертикальным смещением осей синфазности георадиолокационных сигналов (рис. 1, а). Смещение приводит к скачкообразному изменению амплитудных значений, например при времени задержки t, обозначенному серой пунктирной линией, амплитуда уменьшится с A1 (рис. 1, б) до A2 (рис. 1, в). Вдоль трасс (по глубине) подобные изменения весьма различны, что связано как с техническими особенностями георадаров, так и с закономерностями распространения электромагнитных волн в различных средах. Для разработки более универсальной характеристики, чем простое $\Delta A = A1 - A2$, представим пару амплитудных значений в виде комплексного числа (рис. 1, г) и найдем угол α, который будет характеризовать ΔA независимо от величины A1 и A2.

Для упрощения анализа данных георадиолокации вычисление угла α будем проводить по формуле

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{\max(A1, A2)}{\min(A1, A2)}\right), \qquad (*)$$

где функции max() и min() возвращают соответственно наибольшее и наименьшее значение из A1 и A2.

Данный подход позволит упростить интерпретацию результатов расчетов и повысит их однозначность в случае широких трещин, так как при расчетах по формуле (*) левая и правая стенки будут характеризоваться одним и тем же значением α. Если же учитывать порядок следования амплитудных значений трасс, то переходы правый берег трещины – заполнитель трещины и заполнитель трещины – левый берег трещины будут характеризоваться различными значениями α, что потребует дополнительных усилий интерпретатора по выявлению признаков трещин в данных георадиолокации.



а) *б)* *в)* *г)*

Рис. 1. Изменение амплитудных значений георадиолокационных сигналов при вертикальном смещении осей синфазности. а) синтетическая георадиолокационная радарограмма; б) трасса из левой половины (а); в) трасса из правой половины (а); г) геометрическое представление амплитудных значений сигналов двух трасс в виде комплексного числа

Возможные значения α в зависимости от величины и знака A1 и A2

	A1, A2 > 0	A1, A2 < 0	A1 > 0, A2 < 0	A1 < 0, A2 > 0
|A1| > |A2|	$\left(\frac{\pi}{4};\frac{\pi}{2}\right)$	$\left(0;\frac{\pi}{4}\right)$	$\left(-\frac{\pi}{2};-\frac{\pi}{4}\right)$	$\left(-\frac{\pi}{4};0\right)$
|A1| < |A2|	$\left(\frac{\pi}{4};\frac{\pi}{2}\right)$	$\left(0;\frac{\pi}{4}\right)$	$\left(-\frac{\pi}{4};0\right)$	$\left(-\frac{\pi}{2};-\frac{\pi}{4}\right)$
|A1| = |A2|	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{4}$	$-\frac{\pi}{4}$	$-\frac{\pi}{4}$

Значения α, которые могут быть получены при расчете по формуле (*), представлены в таблице. Из них наиболее просто определять наличие трещин в массиве многолетнемерзлых горных пород по отрицательным значениям α из интервала (–π/2; 0). В этих случаях на радарограмме наблюдается переход с положительного значения амплитуды на отрицательную или наоборот, что явно указывает на потерю корреляции осей синфазности георадиолокационных сигналов и их смещение по вертикали. Значениями α около –π/2 характеризуются такие резкие изменения, как обрыв оси синфазности, значения α ≈ –π/4 показывают наличие сильно деформированных осей синфазности характерных для неярко выраженных трещин. В положительном диапазоне значений α, интервал в некоторой окрестности π/4, говорит о наличии горизонтальных осей синфазности не имеющих каких-либо значительных искажений.

Результаты исследования и их обсуждение

Апробация предлагаемого подхода к выявлению трещин проведена по данным компьютерного моделирования (рис. 2, а) и результатам георадиолокационных зондирований рыхлых отложений криолитозоны (рис. 2, в).

На рис. 2, а, представлена грабеноподобная структура, имеющая смещение осей синфазности по вертикали в интервале 65–125 нс, на отметках по профилю 100 м и 200 м. В результате расчета α получена матрица M (рис. 2, б), строки которой соответствуют номерам отсчетов трасс оригинальной радарограммы, а количество столбцов меньше на 1, чем на рис. 2, а. Все горизонтально-слоистые участки радарограммы в матрице M имеют значение 45, что показано равномерной фоновой окраской, на которой четко выделяются две полоски

в местах смещения осей синфазности. Полоски имеют сложную окраску, что связано с физической природой георадиолокационных сигналов, имеющих колебательный характер (1,5–2-периодный).

На рис. 2, в представлена радарограмма с типичными нарушениями слоев горных пород. На отметке 1378 по профилю, в диапазоне 30–85 нс прослеживается расширяющаяся трещина, правее которой имеются сопутствующие пликативные и дизъюнктивные нарушения. Результат расчета α (рис. 2, г) имеет практически однородную окраску на горизонтальных участках с незначительной разницей в местах соответствующим отрицательным и положительным амплитудным значениям. В зоне нарушенности горных пород более темный цвет указывает на изгиб осей синфазности, при этом чем сильнее изгиб, тем темнее цвет. Участки с потерей корреляции осей синфазности георадиолокационных сигналов, приуроченные к нарушению сплошности горных пород, отмечены тёмно-синим цветом. Таким же цветом обозначены резкие изломы осей синфазности, характерные для трещин, размеры которых меньше первой зоны Френеля для центральной частоты используемого георадара.

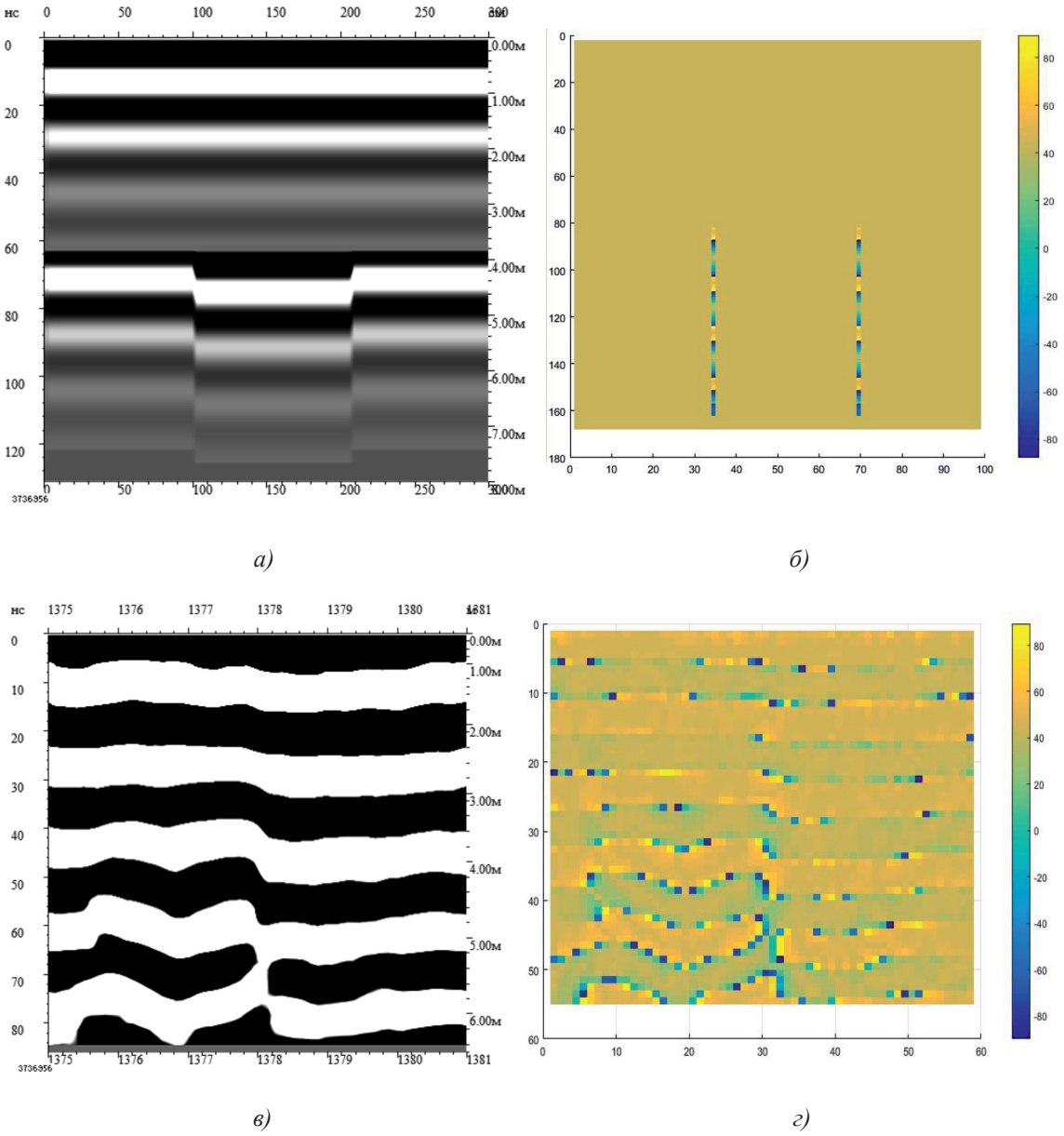
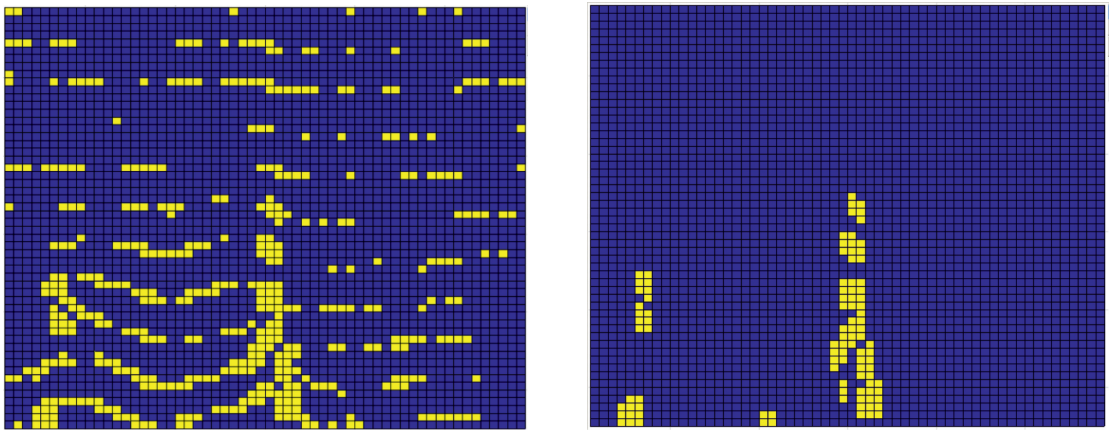


Рис. 2. Примеры результатов расчета α (б, г) для радарограмм (а, в)



а) *б)*

Рис. 3. Результаты обработки матрицы М (рис. 2, г): а) отрицательные значения α; б) вертикальные группы отрицательных значений α

При поиске трещин по данным георадиолокационных измерений необходимо автоматизированное выделение двух вышеуказанных типов волновых картин (потеря корреляции и излом осей синфазности). Для этой цели полученная матрица М преобразуется следующим образом:

1. Удаляются все положительные значения.

2. Удаляются группы отрицательных значений, имеющие горизонтальный характер расположения.

На рис. 3 представлены результаты подобного преобразования, на заключительном этапе которого становится возможным определение наличия, местоположения, форм и размеров нарушений горных пород, связанных с трещинами.

Для выявления пликативных нарушений необходимо удалить не горизонтальные, а вертикальные группы отрицательных значений, при использовании различной окраски для двух этих групп получится более полная картина, характеризующая нарушенность приповерхностных слоев массива многолетнемерзлых горных пород. Разработанный способ также позволяет производить автоматизированный поиск зон повышенной трещиноватости массива мерзлых горных пород, результатом которого может быть график наличия трещин, полученный по следующему алгоритму:

1. Произвести расчет α по формуле (*) с первой до предпоследней трассы, результаты занести в матрицу М.

2. Удалить все положительные значения и группы отрицательных значений, имеющие горизонтальный характер расположения.

3. Произвести сложение всех элементов каждого столбца матрицы, если сумма больше 0, то в матрицу-строку в ячейку под номером соответствующим номеру столбца записать 1.

4. Вывести на экран полученную матрицу-строку.

Заключение

Разработан способ обработки данных георадиолокационных измерений, позволяющий выявлять трещины в массиве горных пород на основе расчета аргумента (α) комплексного числа, действительной и мнимой частью которого являются амплитудные значения двух соседних георадиолокационных трасс. По значениям α возможно выделение участков не только с явными трещинами ($\alpha \approx -\pi/2$), но и трещин, размеры которых значительно меньше первой зоны Френеля используемого георадара ($\alpha \approx -\pi/4$). В положительном диапазоне значений α, интервал в некоторой окрестности π/4, говорит о наличии горизонтальных осей синфазности не имеющих каких-либо значительных искажений. Разработанный способ позволяет выявлять участки радарограмм характерных для пликативных и дизъюнктивных нарушений слоев горных пород. Описанные алгоритмы существенно сократят временные затраты на обработку и интерпретацию георадиолокационных данных, что позволит расширить область

применения георадиолокации в интересах не только науки, но и недропользователей на стадиях доразведки и эксплуатационной разведки месторождений полезных ископаемых криолитозоны

Список литературы / References

1. Walton G., Lato M., Anschutz H., Perras M.A., Diederichs M.S. Non-invasive detection of fractures, fracture zones, and rock damage in a hard rock excavation – Experience from the Aspo Hard Rock Laboratory in Sweden. Engineering Geology. 2015. vol. 196. P. 210–221. DOI: 10.1016/j.enggeo.2015.07.010.

2. Arosio D. Rock fracture characterization with GPR by means of deterministic deconvolution. Journal of Applied Geophysics. 2016. vol. 126. P. 27–34. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2016.01.006.

3. Elkarmoty M., Tinti F., Kasmaeeyazdi S., Giannino F., Bondua S., Bruno R. Implementation of a fracture modeling strategy based on georadar survey in a large area of limestone quarry bench. Geosciences. 2018. vol. 8. № 12. UNSP 481. DOI: 10.3390/geosciences8120481.

4. Conti I.M.M., de Castro D.L., Bezerra F.H.R., Cazarin C.L. Porosity estimation and geometric characterization of fractured and karstified carbonate rocks using GPR data in the salitre formation. Pure and Applied Geophysics.2019. vol. 176. № 4. P. 1673–1689. DOI: 10.1007/s00024-018-2032-5.

5. Bavusi M., Soldovieri F., Piscitelli S., Loperte A., Vallianatos F., Soupios P. Ground-penetrating radar and microwave tomography to evaluate the crack and joint geometry in historical buildings: some examples from Chania, Crete, Greece. Near Surface Geophysics. 2010. vol. 8. P. 377–387. DOI: 10.3997/1873-0604.2010039.

6. Попов С.В., Поляков С.П. Георадарное лоцирование трещин в районе российских антарктических станций Прогресс и Мирный (восточная Антарктида) в сезон 2014/15 года // Криосфера Земли. 2016. Т. XX. № 1. С. 90–98.

Popov S.V., Polyakov S.P. GPR localization of cracks in the area of Russian Antarctic stations Progress and Mirnyi (East Antarctica) in the season 2014/15 // Cryosphere of the Earth. Vol. XX. № 1. P. 90–98 (in Russian).

7. Tingdahl K.M., De Rooij M. Semi-automatic detection of faults in 3D seismic data. Geophysical Prospecting. 2005. vol. 53. № 4. P. 533–542. DOI: 10.1111/j.1365-2478.2005.00489.x.

8. Jacquemin P., Mallet J-L. Automatic fault extraction using double Hough transform. Society of Exploration Geophysicists. 2005. P. 755–788.

9. Admasu F., Back S., Toennies K. Autotracking of faults on 3D seismic data. Geophysics. 2006. vol. 71. № 6. P. A49–A53.

10. Priezzhev I.I., Scollard A. Faults and Fracture Detection based on Seismic Surface Orthogonal Decomposition. 74th EAGE Conference & Exhibition incorporating, Denmark. 2012. [Electronic resource]. URL:https://www.researchgate.net/publication/275335720_Faults_and_Fracture_Detection_based_on_Seismic_Surface_Orthogonal_Decomposition (date of access: 23.10.2019).

11. Фатькин К.Б. Атрибутный AVO-анализ для обнаружения зон трещиноватости по данным шахтных сейсмоакустических исследований // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2009. № 6. С. 406–410.

Fatkin K.B. Attribute AVO-analysis for the detection of fracture zones according to mine seismoacoustic studies // Mining information and analytical Bulletin (scientific and technical journal). 2009. № 6. P. 406–410 (in Russian).

12. Зелинский Н.Р., Владов М.Л. Опыт применения нейронных сетей для выделения тектонических нарушений в угленосных толщах по данным сейсморазведки // Геофизика. 2013. № 2. С. 38–44.

Zelinsky N.R., Vladov M.L. Experience of application of neural networks for allocation of tectonic violations in coal-bearing strata according to seismic survey // Geophysics. 2013. № 2. P. 38–44 (in Russian).

13. Соколов К.О., Федорова Л.Л., Прудецкий Н.Д. Индикационные признаки трещин рыхлых отложений для оценки геокриологических условий месторождений криолитозоны методом георадиолокации // Естественные и технические науки. 2018. № 11. С. 174–177.

Sokolov K.O., Fedorova L.L., Prudetsky N.D. Indicative signs of cracks of loose sediments for estimation of geocryological conditions of cryolithozone deposits by the method of GPR // Natural and technical Sciences. 2018. № 11. P. 174–177 (in Russian).

УДК 911.9(470.22)

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНЫХ РЕСУРСНЫХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННЫХ КЛАСТЕРОВ (НА ПРИМЕРЕ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ГОРОДА-КУРОРТА АНАПЫ И ГОРОДА НОВОРОССИЙСКА)

Сухов Р.И.

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

Развитие туристско-рекреационных кластеров в Российской Федерации требует не только финансово-экономического, но и ресурсного обоснования. В статье анализируются факторы внутреннего характера системы «туристский потенциал территории» природного и историко-культурного генезиса, обуславливающие функционирование туристско-рекреационного кластера «Абрау – Утриш», расположенного на территории двух муниципальных образований Краснодарского края и включенного в Федеральную целевую программу «Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации (2019–2025 годы)». Для характеристики природно-климатических факторов были проанализированы две группы показателей. Первая характеризует уровень сохранности и рационального использования природных ресурсов. Охарактеризован тип рекреационного землепользования, его перспективные виды, такие как виноградорство и виноделие. Произведена оценка погодно-климатических условий с учетом данных эффективных температур воздуха. Описана специфика бальнеологических ресурсов – вод и грязей и их значение в специализации кластера. Произведена оценка возможностей особо-охраняемых природных территорий в соответствии с их категорией и значением в организации туристкой деятельности. Произведена комплексная оценка уровня качества водных ресурсов территории с точки зрения их туристско-рекреационной значимости, исследованы особенности строения береговой линии и пригодность купально-пляжных угодий для целей рекреации. Вторая группа показателей характеризует уровень сохранности и рационального использования историко-культурных ресурсов в зависимости от категории объекта культурного наследия. В соответствии с выявленными показателями и свойствами была определена туристско-рекреационная специализация протокластера, показаны существующие проблемы, ограничивающие возможности его развития, и сильные стороны, которые позволят привлекать на его территорию определенные целевые аудитории.

Ключевые слова: туристско-рекреационный кластер, ресурсный туристский потенциал, природно-климатические факторы, историко-культурные факторы, туристский потенциал территории

THE INFLUENCE OF NATURAL AND HISTORICAL AND CULTURAL RESOURCE FACTORS ON THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF TOURIST AND RECREATIONAL CLUSTERS (BY THE EXAMPLE OF MUNICIPALITIES OF THE RESORT CITY OF ANAPA AND THE CITY OF NOVOROSSIYSK)

Sukhov R.I.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Southern Federal University», Rostov-on-Don, e-mail: ris@sfedu.ru

The development of tourist and recreational clusters in the Russian Federation requires not only financial and economic, but also resource justification. The article analyzes the internal factors of the system «tourist potential of the territory» of natural and historical and cultural genesis, which determine the functioning of the tourist and recreational cluster «Abrau-Utrish», located on the territory of two municipalities of Krasnodar region and included in the Federal Target Program «Development of Domestic and Inbound Tourism in the Russian Federation (2019-2025)». Two groups of indicators were analyzed to characterize natural and climatic factors. The first one characterizes the level of preservation and rational use of natural resources. The type of recreational land use and its perspective views, such as viticulture and winemaking, are analyzed. The estimation of weather and climatic conditions taking into account the data of effective air temperatures is made. The specificity of balneological resources – water and mud and their importance in the specialization of the cluster – is described. The possibilities of specially protected natural areas in accordance with their category and importance in the organization of tourist activity are assessed. A comprehensive estimate of the level quality of water resources of the territory from the point of view of their tourist and recreational importance was made, the features of the structure of the coastline and the suitability of bathing and beach lands for recreational purposes were studied. The second group of indicators characterizes the level of preservation and rational use of historical and cultural resources depending on the category of cultural heritage. In accordance with the identified indicators and properties, the tourist and recreational specialization of the protocluster was determined, the existing problems limiting the possibilities of its development and strengths that will allow attracting certain target audiences to its territory were shown.

Keywords: tourist and recreational cluster, resource tourism potential, natural and climatic factors, historical and cultural factors, tourist potential of the territory

Реализация проектов туристско-рекреационных кластеров в Российской Федерации происходит в рамках Федеральной целевой программы «Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации (2019–2025 годы)». Инвестиционный проект по созданию на Черноморском побережье Краснодарского края туристско-рекреационного кластера «Абрау – Утриш» начал осуществляться еще в 2013 г. Цель

проекта изначально предполагала создание туристской инфраструктуры на территории береговой линии от города Новороссийска до поселения Большой Утриш. Однако в дальнейшем территория кластера была расширена до города Анапы. Ряд мероприятий по созданию обеспечивающей и туристской инфраструктуры завершён, другие запланированы для реализации до 2021 г.

Для оценки перспектив развития туристско-рекреационного кластера «Абрау – Утриш» первоначально целесообразно проанализировать факторы внутреннего характера, определяющие условия для его создания и функционирования с позиции географических и историко-культурных аспектов ресурсного туристского потенциала.

Цель исследования: исследовать природные и историко-культурные ресурсные факторы, определяющие условия формирования и функционирования туристского кластера на территории муниципальных образований города-курорта Анапы и города Новороссийска.

Материалы и методы исследования

Материалами для исследований послужили публикации российских ученых, занимающихся изучением методик оценки туристского ресурсного потенциала, статистические и информационно-аналитические данные государственных структур и справочно-информационных порталов. Методы исследования: логический, сравнительный, структурный анализ, синтез, экспертный, картографический.

Результаты исследования и их обсуждение

Определение размеров и границ кластера. Если руководствоваться географическим подходом к определению территории кластера [1], её можно определить совокупностью площадей двух административных единиц Краснодарского края – города-курорта Анапы и города Новороссийска (около 181 680 га). Эту территорию в дальнейшем будем назвать протокластером. В его рамках выделим три зоны. Первая – ядро, распределитель туристских потоков (центральные части городов Анапы и Новороссийска). Вторая зона – базовая, концентрирующая основные туристские объекты и маршруты. В нее можно включить прибрежные территории и поселки, расположенные на береговой линии черноморского побережья и озера Абрау. Третья – ареал перспектив туристского бизнеса. Это дальняя зона влияния кластера, распространяющаяся на области перекрытий с соседними подобными системами (остальная территория протокластера и соседние муниципальные образования).

Определение факторов и их показателей. Для характеристики ресурсного базиса протокластера будем придерживаться представлений о системе «туристский потенциал территории», разрабатываемой в Южном федеральном университете в рамках модели интегрального показателя оценки туристского потенциала с позиции применения кластерного подхода к развитию туризма. В этой системе выделяется подсистема «туристские ресурсы», состоящая из нескольких типов факторов и их показателей [2, 3]. В рамках проводимого исследования нас интересуют два фактора. Первый – природно-климатические ресурсы (показатели: уровень сохранности и рационального использования природных ресурсов, уровень качества водных ресурсов, длительность пляжного сезона). Второй – историко-культурное наследие (показатели: уровень сохранности и рационального использования историко-культурных ресурсов).

Уровень сохранности и рационального использования природных ресурсов. В соответствии с видами туристской специализации (купально-пляжный, лечебно-оздоровительный туризм) протокластер можно отнести к типу рекреационного землепользования с высокой интенсивностью рекреации, где другие землепользователи имеют второстепенное значение. Причем некоторые виды землепользования, например возделывание винограда являются дополнительным фактором, способствующим развитию туризма в регионе.

В соответствии с медико-биологическим типом оценки погодно-климатических условий целесообразно привести данные эффективной температуры на метеостанции Анапа (2018 г., время наблюдений 12.00) (табл. 1).

Таблица 1

Годовой ход эффективной температуры воздуха (градусы по шкале Цельсия), время наблюдения 12.00, место наблюдения – метеостанция Анапа (2018 г.) [4]

месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Средне месячный показатель	0,8	2,6	5,7	15,5	23,6	30,7	35,6	34,1	27,4	20,5	5,5	2,8

Этот показатель подразумевает ощущения одетого по сезону человека в тени. При расчете учитывается температура воздуха, влияние влажности воздуха и скорости ветра на теплоощущения человека. Наиболее комфортные условия для туристов в период летней рекреации соответствуют интервалу температур от +21 °C до +25 °C (май, первая декада октября), в рамках приемлемых температур считается интервал от +17° до +20° (третья декада апреля, третья декада октября). Показатели в интервале от +26 °C до +30 °C (практически весь июнь, большая часть сентября) характеризуются как «душные», от +31 °C до +38 °C (большая часть дней в июле, августе, в начале сентября) как «очень душные». Выше +38 °C (отдельные периоды в июле, августе) наступает опасность солнечного удара и перегрева организма. В холодное время года (зима, начало календарной весны, поздняя осень) комфортными считаются эффективные температуры начиная от +4 °C и + 9 °C (вторая половина марта, апрель, первая половина ноября). Наименее пригодными для туризма с точки зрения эффективных температур можно считать декабрь, январь и февраль, отдельные дни в июле и августе.

На территории Анапы находятся источники с девятью видами минеральных вод (столовых и наружного применения). На курорте используются иловые и ило-глинистые лечебные грязи озера Чембургского, а также грязь из Голубицкого озера (сопредельный с кластером Темрюкский район).

По химическому составу, физическим свойствам и лечебному значению в соответствии с медицинской классификацией, природные минеральные воды подразделяются на восемь основных бальнеологических групп. На территории протокластера и в сопредельных районах разведаны воды следующих групп: I (без специфических компонентов и свойств) лечебно-столовая вода «Анапская», минеральная вода санатория «Анапа»; III (сероводородные или сульфидные) сероводородные воды Джеметинского и Пионерского месторождений; V (бромные, йодные и йодобромные) Семигорские минеральные воды, лечебно-столовая вода «Большой Утриш», бромные воды и рассолы Пионерского месторождения и VIII (слабоминерализованные с высоким содержанием органических веществ) [5].

На территории протокластера находится 23 объекта, относящихся к особо охраняемым природным территориям (ООПТ). К ООПТ, в которых условия для развития туризма являются ограниченными, поскольку они выполняют природоохранную и научную функцию, относят 4 объекта, один из которых, государственный природный заповедник «Утриш», имеет федеральное значение (общая площадь ООПТ 10 008 га, площадь морской особо охраняемой акватории 783 га) и 3 государственных природных заказника, один из которых является самостоятельным («Красная горка»), два («Большой Утриш», «Абраусский») входят в состав заповедника «Утриш». Все заказники имеют региональный статус. Оставшиеся 19 ООПТ относятся к категориям «памятники природы», «рекреационная зона», «природная рекреационная зона» и «природные достопримечательности» [6]. Все они имеют региональное или местное значение, носят компромиссный характер туристской деятельности, то есть выполняют как природоохранную, так и туристско-рекреационную функции.

Уровень качества водных ресурсов. Состоит из комплексной оценки, включающей показатели числа летних дней с температурой воды, приемлемой для купания, ширины зоны мелководья, литологии донного грунта в зоне мелководья, скорости течения.

Число дней с температурой воды, наиболее приемлемой для купания (в интервале от +20 °C до +26 °C) на территории протокластера составляет в среднем около 120. На протяжении всей береговой линии от Анапы до Новороссийска среднемесячные показатели температур практически одинаковы. Небольшое её увеличение наблюдается в юго-восточном направлении от Анапы (табл. 2).

Таблица 2

Среднемесячные показатели температуры прибрежных вод в населенных пунктах протокластера (по данным наблюдений за 2016, 2017, 2018 гг., °C) [7]

Месяц/населенный пункт	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Анапа	9,5	8,8	8,7	10,1	16,5	22,1	24,9	25,8	23,4	18,7	14,7	11,6
Сукко	9,9	9,1	8,9	10,8	16,6	22,2	24,9	26	23,7	19,1	15,2	12
Дюрсо	10,1	9,2	9,1	10,9	16,7	22,4	25	26,2	23,9	19,3	15,5	12,2
Широкая Балка	10,1	9,3	9,1	10,9	16,8	22,4	25,1	26,3	24	19,4	15,6	12,3

К мелководным, как правило, относят акватории глубина которых не превышает 10 м. Однако для целей рекреации имеют значение показатели «предельного мелководья». Поэтому под «мелководьем» в настоящем исследовании будем понимать глубины до 3 м.

Центральная часть Анапы расположена на пологом плато, которое постепенно понижается и переходит в протяженный мелкопесочный пляж, ширина которого составляет от 60 до 180 м. Максимальные глубины в Анапской бухте 2,5–7,5 м, протяженность мелководья 70–100 м. Дно моря – пологое, с песчаным грунтом. Такие характеристики обуславливают быстрое прогревание воды, что в сочетании с другими факторами делает этот район привлекательным для отдыха с детьми.

К юго-востоку от города берут начало отроги хребтов Кавказских гор. Они имеют максимальную высоту 532 м. Близкое расположение гор к береговой линии оказывает влияние на формирование пляжной зоны.

Ширина зоны мелководья варьирует в пределах 2–5 м. Ширина пляжной зоны и ее литология зависят от конкретного участка побережья. В устьях рек формируются пляжи шириной до 20–50 м, сложенные средней и крупной галькой. Рельеф здесь пологий. К таким участкам можно отнести населенные пункты Сукко, Большой Утриш, Малый Утриш, Сухая Щель, Дюрсо, Южная Озереевка, Широкая Балка, Мысхако. Общая протяженность пляжей этих поселков составляет около 11 км. Именно эти участки обладают наибольшим потенциалом для развития купально-пляжного туризма. Остальные 37 км береговой линии кластера для туристско-рекреационных целей практически непригодны. Обусловлено это рядом факторов: изолированностью от туристской и транспортной инфраструктуры (побережье характеризуется скалистым, обрывистым рельефом), узкой береговой линией от 1 до 15 м, неприемлемой для рекреации литологией донного грунта и пляжной зоны (чередование средней, крупной гальки, валунов, каменных осыпей на относительно узких отрезках береговой линии), резким нарастанием глубины, сложным рельефом дна.

Максимальное количество штормов у берегов протокластера приходится на холодное время года. Частота волнений силой от 5 баллов и выше возрастает в зимнее время почти в 2 раза по сравнению со среднегодовой.

Явления приливного характера в Черном море практически не наблюдаются. Характерны годовые колебания уровня моря, обусловленные изменением составляющих гидрологического баланса: стока рек, испарения, осадков.

Режим солености прибрежной части моря стабилен, отмечающиеся колебания солености, вызываемые поверхностным стоком рек и волнениями, незначительны. Многолетние колебания средней солености моря в прибрежной зоне в пределах 16–18 промилле.

При всей сложности режима течений в береговой зоне можно выделить основное течение северо-западного направления со средней скоростью 0,1–0,15 м/с и в редких случаях скорость течения превышает 0,25–0,36 м/с.

Значительно реже течение имеет обратное направление. В этом случае оно неустойчиво и после прекращения вызывающих его ветров быстро сменяется обычным. В заливах, бухтах и у мысов наблюдаются круговороты течений, направление которых чаще всего по часовой стрелке со скоростью 0,05–0,2 м/с [8].

Одной из проблем для развития купально-пляжного туризма в протокластере является «цветение воды», обусловленное состоянием фитопланктона. В акватории Анапской бухты и открытого моря наибольший вклад как в численность (47–59 %), так и биомассу (61–72 %) фитопланктона вносят диатомовые водоросли. В многолетней динамике фитопланктона 2–3 пика численности водорослей отмечали весной и летом, высокие значения биомассы в отдельные годы приходились на осень [9]. Для купально-пляжного туризма, как правило, наименее благоприятными являются июль – август.

Длительность купально-пляжного сезона. Обусловлена двумя показателями: эффективной температурой воздуха (минимальные значения 21 °C) и температурой прибрежных вод (минимальное значение 20 °C) и составляет около 120 дней, со второй декады июня по первую декаду октября.

Уровень сохранности и рационального использования историко-культурных ресурсов, уровень доступности. Согласно сведениям из Единого государственного реестра объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории кластера находится 323 объекта культур-

ного наследия [10]. Из них 9 имеют категорию федерального значения. Один из них находится в Анапе, восемь в Новороссийске. Оставшиеся 314 объектов относятся к категории регионального значения (67 в Анапе и 247 в Новороссийске). В основном это памятники и бюсты государственным деятелям, здания, места захоронения, мемориальные комплексы, памятные знаки, остатки фортификационных сооружений. Большая часть из них имеет отношение к Великой Отечественной войне. Поэтому для разработки экскурсий на территории протокластера военно-патриотическая тематика является главенствующей.

Заключение

В соответствии с проведенным анализом показателей факторов подсистемы «туристские ресурсы» можно сделать выводы:

– специализацией протокластера является купально-пляжный и лечебно-оздоровительный туризм;

– развитие купально-пляжного туризма, создание соответствующей туристской инфраструктуры в силу особенностей строения береговой линии возможно только на ограниченной территории протяженностью около 11 км., большая часть которой уже освоена. Продолжительность сезона составляет не более 120 дней. Наиболее благоприятные для отдыха с детьми купально-пляжные угодья находятся в западной части кластера (Анапа). Восточная береговая зона протокластера имеет ряд ограничений и менее пригодна для туристско-рекреационной деятельности;

– лечебно-оздоровительный туризм обусловлен наличием минеральных вод и грязей, сосредоточенных в Анапе. В сочетании с благоприятными характеристиками купально-пляжных угодий в этой части кластера перспективно дальнейшее развитие санаторно-курортного типа туристской деятельности;

– историко-культурные туристские ресурсы имеют региональное значение и характеризуются военно-патриотической тематикой. Соответственно, не могут являться доминантами кластера. Наличие в третьей зоне протокластера винодельческих хозяйств и особо охраняемых природных территорий позволяет говорить о возможности экскурсионных программ эно-гастрономической и экологической тематики. Первые могут быть ориентированы на массового потребителя и не имеют существенных сезонных ограничений, вторые имеют статусные ограничения, не могут быть предложены массовому потребителю и имеют ярко выраженную сезонность в теплое время года.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-010-00665 А/19 по теме «Методологический подход к оценке потенциала и сценарному прогнозированию развития туристско-рекреационных кластеров в условиях территориальной дифференциации».

Список литературы / References

1. Зырянов А.И. Теоретические аспекты географии туризма: монография. Пермь, 2013. 158 с.

Zyryanov A.I. Theoretical Aspects of Tourism Geography: monograph. Perm, 2013. 158 p. (in Russian).

2. Якименко М.В., Жертовская Е.В. Разработка интегрального показателя оценки туристского потенциала с позиции применения кластерного подхода к развитию туризма // Инженерный вестник Дона. 2018. № 4 (51). [Электронный ресурс]. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5274 (дата обращения: 12.11.2019).

Yakimenko M.V., Zhertovskaya E.V. Design of an Integral Indicator of Tourist Potential Estimation from the Point of Application of the Cluster Approach to Tourism Development// Inzhenernyy vestnik Dona. 2018. № 4 (51). [Electronic resource]. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5274 (date of access: 12.11.2019) (in Russian).

3. Сухов Р.И. Определение совокупности факторов, определяющих условия для создания и функционирования туристско-рекреационного кластера с позиции ресурсного туристского потенциала: географический и историко-культурные аспекты // Успехи современного естествознания. 2019. № 10. С. 113–119.

Sukhov R.I. Determination of the Set of Factors Determining the Conditions for the Creation and Functioning of the Tourism and Recreation Cluster from the Point of View of the Resource Tourism Potential: Geographical and Historical and Cultural Aspects // Advances in current natural sciences. 2019. № 10. P. 113–119 (in Russian).

4. Справочно-информационный портал Погода и климат. [Электронный ресурс]. URL: http://www.pogodaiklimat.ru/ (дата обращения: 15.10.2019).

Weather and Climate Information Portal. [Electronic resource]. URL: http://www.pogodaiklimat.ru/ (date of access: 15.10.2019) (in Russian).

5. Ионов П.К., Севрюкова В.С., Баклыков Л.И., Шариков Ю.Н. Минеральные воды Анапы и их лечебное применение. Пособие для отдыхающих, больных и медицинского персонала. Краснодар: Сов. Кубань, 2008. 128 с.

Ionov P.K., Sevryukova V.S., Baklykov L. I., Sharikov Y.N. Anapa's Mineral Waters and Their Medical Application. Manual for Vacationers, Patients and Medical Personnel. Krasnodar: Sov. Kuban, 2008. 128 p. (in Russian).

6. Информационно-аналитическая система «Особо охраняемые природные территории России» (ИАС «ООПТ РФ»). [Электронный ресурс]. URL: http://oopt.aari.ru/ (дата обращения: 04.11.2019).

Information and Analytical System «Specially Protected Natural Territories of Russia» (IAS «SPNT RF»). [Electronic Resource]. URL: http://oopt.aari.ru/ (date of access: 04.11.2019) (in Russian).

7. Информация о температуре воды на морских курортах. [Электронный ресурс]. URL: http://worldseatemp.com/ru/ (дата обращения: 27.10.2019).

Information about Water Temperature at Sea Resorts. [Electronic Resource]. URL: http://worldseatemp.com/ru (date of access: 27.10.2019) (in Russian).

8. Гидрологические условия Анапы. Рекламно-информационное агентство Анапа Инфо. [Электронный ресурс]. URL: http://worldseatemp.com/ru/http://www.anapa.info/article/14610 (дата обращения: 01.11.2019).

Anapa's Hydrological Conditions. Anapa Info Advertising and Information Agency. [Electronic Resource]. URL: http://worldseatemp.com/ru/http://www.anapa.info/article/14610 (date of access: 01.11.2019) (in Russian).

9. Ясюкова О.Н. Современное состояние фитопланктона в бухтах городов Анапа и Геленджик, Чёрное море // Вестник Южного научного центра РАН. 2014. № 1 (10). С. 35–49.

Yasyukova O.N. Modern State of Phytoplankton in the Bays of Anapa and Gelendzhik, the Black Sea // Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra RAN. 2014. № 1 (10). P. 35–49 (in Russian).

10. Портал открытых данных Министерства культуры Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: https://opendata.mkrf.ru/opendata/7705851331-egrkn (дата обращения: 30.10.2019).

Open Data Portal of the Ministry of Culture of the Russian Federation. [Electronic Resource]. https://opendata.mkrf.ru/opendata/7705851331-egrkn (date of access: 30.10.2019) (in Russian).

УДК 556:574.5(268.46)

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ГРУНТАХ И ГАЛОФИТАХ ЛИТОРАЛИ БЕЛОГО МОРЯ

[1]Теребова Е.Н., [1]Марковская Е.Ф., [2]Орешникова Н.В., [1]Таскина К.Б., [1]Андросова В.И.

[1]Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, e-mail: eterebova@gmail.com, volev10@mail.ru, tasamayaksenia@gmail.com;

[2]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: oreshinka@list.ru

Исследованы условия произрастания индикаторных галофитных видов триостренника морского (*Triglochin maritima* L.) и подорожника морского (*Plantago maritima* L.) приливно-отливной зоны западного побережья Белого моря. Литоральные грунты приморских территорий песчаные или каменисто-песчаные, средне- и слабозасоленные, бедные по содержанию органических веществ, марганца, цинка, никеля, свинца; содержат фоновые количества железа и меди, то есть не загрязнены тяжелыми металлами. Морская вода значительно загрязнена железом (3,8 ПДК) и никелем (55 ПДК), бедна цинком, медью и характеризуется фоновым уровнем свинца и марганца. Аккумуляция железа и никеля в воде закрытых морских губ (Лебяжья и Керетская), возможно, связана с трафиком этих металлов со стоковыми течениями рек от металлургических предприятий Республики Карелия и Мурманской области. Исследовали коэффициенты биологического поглощения металлов корнями, надземными органами и всеми растениями галофитов. Доминантные виды *Triglochin maritima* и *Plantago maritima* активно накапливают металлы. Триостренник морской имеет следующий ряд накопления металлов всем растением: Ni (3,42) > Fe (2,08) > Cu (1,91) > Zn (1,84) > Pb (1,51) > Mn (1,31). Подорожник морской: Cu (3,29) > Zn (2,81) > Ni (1,57) > Pb (1,30) > Mn (1,21) > Fe (0,97). Корни накапливают 50–70% Ni, Cu, Zn, Pb, Mn от общего содержания металлов в растениях, листья и стебли: 30–50%. 80% Fe депонируется в корнях, а 20% – в листьях и стеблях. Предложено использовать исследованные виды галофитов в качестве фиторемедиантов морских территорий.

Ключевые слова: приморские территории, условия среды, галофиты, тяжелые металлы, засоление

ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN SOILS AND HALOPHYTES ON INTERTIDAL ZONE OF THE WHITE SEA

[1]Terebova E.N., [1]Markovskaya E.F., [2]Oreshnikova N.V., [1]Taskina K.B., [1]Androsova V.I.

[1]Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: eterebova@gmail.com, volev10@mail.ru, tasamayaksenia@gmail.com;

[2]Moscow State University, Moscow, e-mail: oreshinka@list.ru

The conditions of growth of indicator halophytic species *Triglochin maritima* L. and *Plantago maritima* L. on tidal zone of the western coast of the White Sea were studied. It was established that the littoral soils had follow characteristics: sand or gravel, medium and slightly saline, poor content of organic substances, manganese, zinc, nickel, lead; contain natural amounts of iron and copper, not contaminated with heavy metals. Sea water was significantly contaminated with iron (3.8 MPC) and nickel (55 MPC), and was characterized by poor contain of zinc and copper as well as natural level of lead and manganese. The accumulation of iron and nickel in the water of the closed sea bays is possibly associated with the traffic of these metals with the river flows from metallurgical enterprises of the Republic of Karelia and the Murmansk region. We studied the coefficients of the biological absorption of metals by the roots, leaves, stems and whole plants. The dominant plant species Triglochin maritima and Plantago maritima actively accumulated metals. According to obtained data Triglochin maritima has the following metal accumulation series: Ni (3,42) > Fe (2,08) > Cu (1,91) > Zn (1,84) > Pb (1,51) > Mn (1,31) and Plantago maritima: Cu (3,29) > Zn (2,81) > Ni (1,57) > Pb (1,30) > Mn (1,21) > Fe (0,97). The roots accumulated 50–70% Ni, Cu, Zn, Pb, Mn of the total metal content in plants, leaves and stems: 30–50%. It was obtained that 80% of Fe was deposited in the roots, and 20% – in the leaves. It was proposed to use the studied halophyte species as phytoremediants on marine territories.

Keywords: coastal areas, environmental conditions, halophytes, salinization, heavy metals

В связи с активным освоением Арктики большое внимание уделяется приморским побережьям арктических морей, куда входит и Белое море. Моря Северо-Запада России относятся к приливным морям, в которые впадают реки и где образуются эстуарные территории. Морские побережья являются зонами контакта между наземными и морскими экосистемами [1]. Эти территории относятся к наиболее нестабильным, так как дважды в сутки за счет приливно-отливной волны на них происходит смена водной и воздушной сред, что приводит к изменению всех климатических условий. Эти территории заливаются пресной водой больших рек, которые несут в том числе и сточные воды с освоенных человеком территорий и солеными морскими водами, которые движутся от северных морей через горло Белого моря к приморским территориям вдоль Карельского берега.

На приморских территориях ведущую роль играет литораль, которая в первую очередь подвергается всем вышеперечис-

ленным воздействиям. На ее основной части – приливно-отливной зоне произрастают уникальные галофиты – высшие наземные сосудистые растения, которые адаптированы прежде всего к тому, чтобы дважды в сутки на 2–3 ч в период прилива полностью уходить под воду, а затем на воздушную среду, тоже на 2–3 ч – осушку. Эта группа растений – приморский галофитный комплекс – активно изучается разными исследователями [2, 3]. Поскольку растения литорали испытывают наиболее сильное воздействие приливно-отливных течений в таком стрессовом режиме, то встает вопрос об адаптации галофильного комплекса высших сосудистых растений к этим условиям и возможности поглощения и накопления ими тяжелых металлов.

Цель работы: исследовать накопление тяжелых металлов в грунтах, морской воде и доминантных видах галофитов: триостренника морского (*Triglochin maritima* L.) и подорожника морского (*Plantago maritima* L.) – в условиях эстуария Керетской губы Белого моря.

Материалы и методы исследования

Район исследования. Работа выполнена в июле 2018 г. на приливно-отливной зоне западного побережья Белого моря от губы Лебяжьей до губы Керетской, которая представляет собой небольшой залив, являющийся эстуарием реки Кереть (рис. 1).

Исследования проходили на трех пробных площадках (ПП) методом маршрутных учетов в естественных границах растительности. ПП1 – губа Лебяжья (66,293005 °с.ш., 33,592337 °в.д.), у которой, согласно классификации И.П. Бреслиной (1980) [4], песчано-каменистый ряд характерен для крутых литоралей, не защищенных от волнобоя участков. Грунт несортированный песчаный с прослойками камней, характеризуется подвижностью. Береговая полоса, формируемая приливной волной, ступенчато или валообразно приподнята над литоралью, характерен галечный песчано-глинистый субстрат, соотношение галька: песок: глина составляет 235/160/105. ПП2 – выход из губы Лебяжья (66,293000 °с.ш., 33,608432 °в.д.), супесчаный ряд характерен для обширных пологих литоралей, достаточно защищенных от волнобоя губ, представлен глинисто-песчаный субстрат с незначительной долей гальки – 31/220/239. ПП3 – вход в губу Керетскую (66,290796 °с.ш., 33,609796° в.д.) грунт литорали песчаный или каменисто-песчаный, слегка заиленный – 85/345/70. С геоботанической точки исследованные территории относятся к лугам низкого уровня [5].

В средней части каждой трансекты были отобраны пробы почв и растений на определение содержания тяжелых металлов. На расстоянии 2–3 м от линии уреза воды выполнено три прикопки почв вне растительного покрова, а также отобрано по 5 растений каждого вида с обязательным сбором прикорневого субстрата (для расчета КБП металлов).

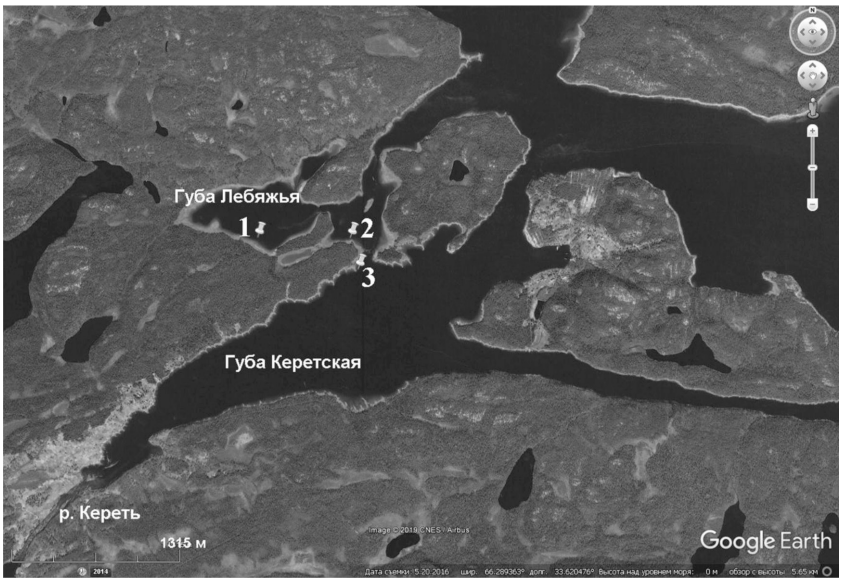


Рис. 1. Расположение пробных площадей (ПП1, ПП2, ПП3) в районе исследования

Объекты исследования – растения галофиты, морская вода и грунты приливно-отливной зоны Белого моря. Галофиты – триостренник морской (*Triglochin maritima* L.) – циркумбореальный умеренно-арктический вид; подорожник морской (*Plantago maritima* L.) – гипоарктический евразиатский вид [1]. Оба вида распространены на всей исследуемой территории (рис. 2–3).

Определение солености воды в полевых условиях проводили рефрактометром. Степень засоленности почв оценивалась по массовой доле (%) сухого (плотного) остатка водной вытяжки, содержание органического вещества определяли по методу Тюрина [6]. Анализ выполнялся на базе факультета почвоведения Московского государственного университета им М.В. Ломоносова.

Рис. 2. Триостренник морской Triglochin maritima L.

Рис. 3. Подорожник морской Plantago maritima L.

Содержание тяжелых металлов определяли атомно-эмиссионным, атомно-абсорционным методом (атомно-абсорбционный спектрофотометр AA-7000 (Shimadzu, Япония) на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук». В работе представлены валовые средние арифметические значения содержания тяжелых металлов в грунтах, корнях, листьях, целом растении и морской воде.

Коэффициент биологического поглощения (КБП) металлов характеризует способность растений поглощать тяжелые металлы из среды, рассчитывали как отношение содержания металла в растении к его содержанию в среде (грунт + вода). Грунт отбирали непосредственно в зоне корней растений. Растения триостренника и подорожника делили на подземную часть (корни) и надземную часть (листья + стебли + соцветия). Рассчитывали значения КБП металлов всем растением, в корнях и надземной части на каждой пробной площади и в среднем по пробным площадям (ПП).

Статистическая обработка данных. Достоверность полученных результатов оценивали с помощью критерия Стьюдента, с учетом объема сравниваемых совокупностей и порога доверительной вероятности 0,95 (программа Statgraphics 2.1 для Windows).

Результаты исследования и их обсуждение

На всех пробных площадках было исследовано содержание тяжелых металлов у двух видов растений триостренника морского (*Triglochin maritima*) и подорожника морского (*Plantago maritima*), а также в морской воде и литоральном грунте зоны корней растений.

Содержание тяжелых металлов в грунтах и морской воде исследуемой территории

Содержание железа в грунте в районе исследования было в среднем 12359 ± 3525 мг/кг, максимально в грунте ПП1 (губа Лебяжья) – 16131 мг/кг, минимально на ПП2 (выход из губы Лебяжья) – 9149 мг/кг. Марганец был представлен в грунтах на уровне 122,80 ± 25 мг/кг, максимально на ПП1 – 143,14 мг/кг. Количество цинка установлено в среднем на уровне 15,50 ± 3 мг/кг, минимальное количество цинка было в грунтах ПП2 – 11,60 мг/кг. Содержание меди в среднем было на уровне

13,34 ± 10 мг/кг в грунтах исследуемой территории и максимально на ПП1 – 24,50 мг/кг. Никель был установлен в среднем в количестве 9,73 ± 3 мг/кг, максимально на ПП3 (вход в Керетскую губу) – 12,71 мг/кг. И содержание свинца было установлено на уровне 2,50 ± 1 мг/кг в среднем на всех пробных площадях, минимально в грунте ПП1 – 1,57 мг/кг (табл. 1). Грунт губы Лебяжьей является среднезасоленным (1,9%), несколько меньше засоление на выходе из губы Лебяжьей (1,1%), а участок на входе в губу Керетскую слабозасолен (0,6%). Содержание органического вещества в губе Лебяжьей составило 0,8%, на двух других – 0,4%. Литоральный грунт на всех пробных имел слабокислую реакцию – 3,48–4,06. Определение обменной кислотности показало, что практически везде происходит нивелирование разницы между водным и солевым pH.

Таким образом, содержание тяжелых металлов в грунтах пробных площадей не превышало ОДК (ДО) и было ниже кларковых (почва) и фоновых значений (ДО). Грунты исследуемой территории средне-слабозасоленные, слабокислые, бедные с наибольшим содержанием большей части исследуемых металлов на ПП1 – губа Лебяжья.

Морская вода в районе пробных площадей отличается соленостью и связанной с ней содержанием хлорид-ионов и минерализацией. Вода ПП1 (губа Лебяжья) имеет самые высокие соленость – 15‰, содержание хлорид-ионов 5 г/л и минерализацию – 13,46 г/л. Вода ПП2 (выход из губы Лебяжья) имеет соленость 7‰, соответственно 3,46 г/л и 18,08 г/л – содержание хлорид ионов и минерализацию. И вода ПП3 (вход в Керетскую губу) характеризуется солёностью 0‰, содержание хлорид-ионов – 0,56 г/л и минерализация 1,14 г/л, что связано с наличием выходов пресной воды (табл. 2).

Морская вода в районе исследования загрязнена железом (3,8 ПДК), никелем (55 ПДК), кобальтов (1,7 ПДК) и алюминием (1,7 ПДК) (табл. 2). Содержание кадмия, свинца, марганца и хрома в морской воде площадей превышает естественный фон содержания элементов морской воды, но ниже ПДК. А содержание цинка, меди низкое в воде, не превышает естественный фон элементов морской воды (табл. 2). Наиболее низкое содержание элементов морской воды зафиксировано на ПП2 – выход из Лебяжьей губы.

Накопление тяжелых металлов галофитами Triglochin maritima и Plantago maritima

Железо. Нами установлено, что растения *Triglochin maritima* накапливают железа почти в два раза больше, чем растения *Plantago maritima*, 22021 ± 11362 и 13351 ± 10378 мг/кг соответственно. Это довольно высокие уровни содержания железа у растений. При этом на ПП1 (губа Лебяжья) оба вида растений содержат железа в 1,5–3 раза больше, чем на других пробных площадях. КБП железа всем растением в среднем по пробным площадям у *Triglochin maritima* равен 2,08, у *Plantago maritima* – 0,97. При этом средние значения КБП железа на пробных площадях в корне триостренника – 1,78, а в корне подорожника – 0,76. Надземные органы обоих видов растений слабо накапливают железо, все КБП меньше единицы и равны 0,30–0,21 (рис. 4).

Таблица 1

Содержание металлов (S – среднее арифметическое значение, m – стандартное отклонение, min – минимальное, max – максимальное значения) в грунтах пробных площадей литорали Белого моря

Металл	ПП1	ПП2	ПП3	S	m	min	max	Кларк* почвы	Фон** донные отложения	ОДК** донные отложения
мг/кг										
Fe	16131	9149	11794	12359	3525	6452	18684	–	–	46500
Mn	143,14	94,44	130,81	122,80	25	55,70	191,90	850	–	1500
Zn	17,25	11,60	17,65	15,50	3	8,60	25,30	50	150	150
Cu	24,54	6,90	8,57	13,34	10	4,97	14,93	20	35	35
Ni	9,89	6,59	12,71	9,73	3	5,07	20,11	40	30	30
Pb	1,57	3,10	2,81	2,50	1	0,89	4,44	10	30	30

Примечание. *Кларк тяжелых металлов в почвах мира [7].

**Фоновые значения содержания тяжелых металлов в донных отложениях (ДО) морей [8].

**ОДК – ориентировочно допустимые концентрации для незагрязненных донных осадков по SFT для Zn, Cu, Ni и Pb, ссылка из [9].

Таблица 2

Содержание элементов (S – среднее арифметическое значение, m – стандартное отклонение) в морской воде в районе пробных площадей литорали Белого моря

Показатель	ПП1	ПП2	ПП3	S	m	Фон*	ПДК** морская вода
NO^{3-}, мг/л	34,43	30,95	7,81	24,39	14,47	–	39
Cl^{-}, г/л	5,00	3,46	0,56	3,01	2,25	> 2,5	–
$C_{орг}$, мг/л	29,19	18,08	46,00	31,09	14,05	–	–
Минерализация, г/л	13,46	12,48	1,14	9,03	6,85	–	–
Fe, мг/л	0,1621	0,1396	0,2769	0,1929	0,074	0,01	0,05
Mn, мг/л	0,0074	0,0149	0,0201	0,0141	0,006	0,002	0,05
Zn, мг/л	0,0029	0,0032	0,0047	0,0036	0,001	0,01	0,05
Ni, мг/л	1,3576	0,2871	0,0017	0,5488	0,715	0,002	0,01
Cu, мг/л	0,0017	0,0016	0,0020	0,0018	0,000	0,03	0,005
Co, мг/л	0,0008	0,0255	0,0003	0,0088	0,014	0,0005	0,005
Cr, мг/л	0,0029	0,0011	0,0015	0,0018	0,001	0,0002	0,02–0,07
Al, мг/л	0,0894	0,0591	0,0529	0,0671	0,020	0,01	0,04
Pb, мг/л	0,0063	0,0046	0,0004	0,0038	0,003	0,00003	0,01
Cd, мг/л	0,0001	0,0083	0,0001	0,0028	0,005	0,0001	0,01
Соленость, ‰	15	7	0	5–31	–	–	–

Примечания: *Фон – естественный уровень исследуемых показателей морской воды [многочисленные источники].

** ПДК в морской воде водных объектов рыбохозяйственного значения [10].

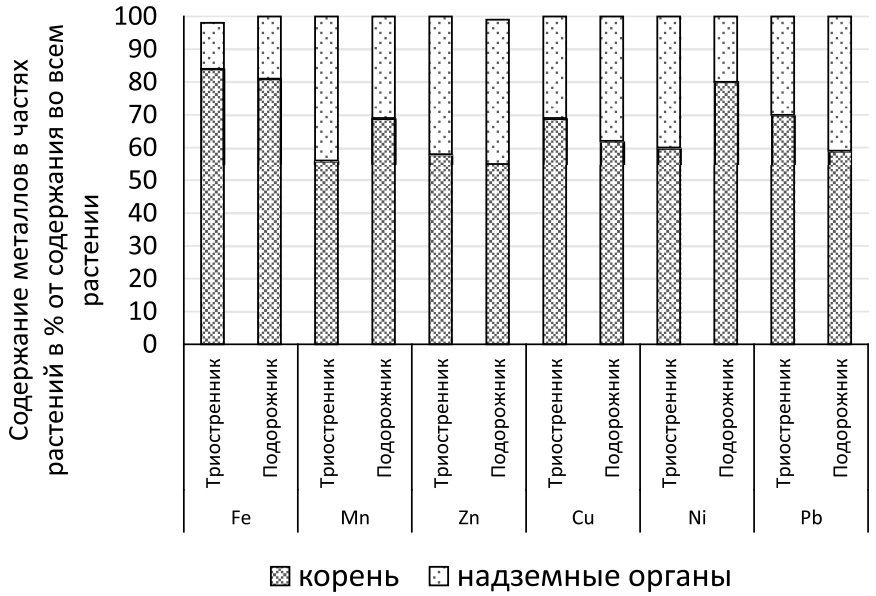


Рис. 4. Содержание тяжелых металлов в корне, надземных органах в% от общего содержания металлов во всем растении Triglochin maritima и Plantago maritima (усредненные данные по ПП1-ПП3)

На рис. 4 представлено усредненное по пробным площадям содержание металлов в корнях и надземных органах растений в процентах от содержания металлов во всем растении.

Марганец. Оба вида галофита депонировали в среднем близкие количества марганца *Triglochin maritima* 134,31 ± 27,75 и *Plantago maritima* 162,46 ± 30,65 мг/кг на всех площадях. Эти значения ниже критического уровня содержания марганца у растений (300–500 мг/кг). При этом марганец равномерно накапливался как надземными органами, так и корнями обоих видов

растений (рис. 4). КБП марганца надземными органами были в диапазоне 0,2–0,8, КБП марганца корнями 0,6–1; при расчете на всё растение КБП у *Triglochin maritima* и *Plantago maritima* близки и равны 1,31 и 1,21 соответственно. Это указывает на активное накопление марганца исследованными видами из среды обитания на всех пробных площадях.

Цинк. Растения *Triglochin maritima* содержали цинка в два раза меньше, чем растения *Plantago maritima* 26,01 ± 4,63 и 42,68 ± 2,95 мг/кг соответственно. Это низкие уровни содержания металла у растений, критический уровень по цинку – больше 100 мг/кг. Оба вида растения активно накапливают цинк, средние значения КБП цинка по ПП всем растением больше единицы (1,84 у триостренника и 2,81 у подорожника). Цинк депонируется в основном в корнях галофитов (КБП 1,04 и 1,57), в надземной части растений накопления цинка меньше (КБП 0,80 и 1,23) (рис.4). Можно отметить, что на ПП2 (выход из губы Лебяжья) и *Triglochin maritima* и *Plantago maritima* более интенсивно поглощают цинк, так как КБП цинка всем растением самые высокие и равны 2,52 и 3,35 соответственно.

Медь. Исследованные растения содержали меди ниже критического уровня у растений (20–100 мг/кг): 14,35 ± 2,70 у *Triglochin maritima* и 21,16 ± 2,23 у *Plantago maritima* мг/кг. Оба вида растения активно накапливают медь, средние значения КБП меди по ПП всем растением больше единицы (1,91 у триостренника и 3,29 у подорожника). Металл медь активно депонировался и надземной частью растений (КБП меди равны 0,78–1,27), и корнями (КБП меди равны 1,13–2,02) обоих видов растений, но корнями в больших количествах (рис. 4). При этом вид *Plantago maritima* более активно поглощал медь, по сравнению с видом *Triglochin maritima* и особенно на ПП3 – вход в губу Керетская (КБП меди целым растением 4,52).

Никель. В условиях литорали Белого моря вид *Triglochin maritima* очень активно накапливал никель до значений 36,01 ± 6,71 мг/кг (критический уровень у растений по никелю 10–100 мг/кг). Этот вид также имеет высокие средние КБП никеля всем растением по ПП – 3,42. Никель равномерно распределяется по растению *Triglochin maritima* (КБП над. органы 1,44, КБП корня 1,98, КБП всего растения 3,42) (рис. 4). Вид *Plantago maritima* содержит никеля в два раза меньше 15,61 ± 7,07 мг/кг и КБП никеля всем растением ниже, чем у *Triglochin maritima* – в среднем по ПП – 1,57. В корнях *Plantago maritima* никель накапливается активнее, чем в листьях, стеблях и соцветиях (КБП корня 1,23, а КБП надзем. органы 0,34) (рис. 4).

Свинец. Растения *Triglochin maritima* накапливали 2,88 ± 0,31 мг/кг и растения *Plantago maritima* 3,25 ± 0,01 мг/кг свинца, что не превышает критические уровни для растений (5–30 мг/кг). Оба вида галофитов активно депонировали свинец, КБП свинца всем растением в среднем по ПП равны у триостренника 1,51, у подорожника – 1,30. Можно отметить, что свинец накапливался и в надземных органах, и в корнях галофитов (рис. 4) и КБП свинца надзем. части равны 0,11–0,97; КБП свинца корнями 0,59–1,20 – очень варьировали в зависимости от пробной площади и вида растений.

Таким образом, все исследуемые металлы активно накапливаются галофитами *Triglochin maritima* и *Plantago maritima* (КБП > 1).

Полученные данные свидетельствуют о том, что литоральные грунты приморских территорий Белого моря (п. Кереть, Республика Карелия) песчаные или каменисто–песчаные, средне-, и слабозасоленные, бедные по содержанию органических веществ, марганца, цинка, никеля, свинца, и содержат фоновые количества железа и меди, то есть не загрязнены тяжелыми металлами. Морская вода значительно загрязнена железом (3,8 ПДК) и никелем (55 ПДК), бедна цинком, медью и характеризуется фоновым уровнем свинца и марганца. При этом наибольшее содержание большей части исследуемых металлов установлено на ПП1 – губа Лебяжья. Возможно, это связано с тем, что Губа Лебяжья – частично закрытая губа от основной акватории Белого моря, поэтому в ней накапливается большая часть загрязняющих веществ.

Согласно исследованиям Ильина с соавторами (2015) [9] поступление загрязняющих веществ в Белое море происходит со стоковыми течениями крупных рек (Онега, Северная Двина). Через устьевые участки рек в прибрежную зону моря сбрасывается около 250,5 млн м^3 сточных вод. Зонами аккумуляции поллютантов становятся Онежский, Двинской, Кандалакшский и Мезенский заливы и центральная глубоководная область моря – бассейн с замкнутой системой циркуляции вод. Сброс поверхностных и коммунальных стоков

формирует в заливах устойчиво повышенный уровень концентраций железа и молибдена (до 2 ПДК), эпизодически – меди [9]. Протяженность береговой линии Белого моря в пределах Республики Карелия свыше 850 км. Гидрологический и гидрохимический режимы моря складываются под воздействием значительного материкового стока (свыше 200 км^3 в год) и водообмена с Баренцевым морем (средний расход стокового течения равен 2200 км^3 в год). В воды Белого моря на территории Карелии впадают четыре крупных реки (Кемь, Нижний Выг, Верхний Выг, Кереть). Объем сбрасываемых карельских сточных вод в поверхностные водные объекты бассейна Белого моря в 2017 г. составил 76,18 млн м^3, в том числе 18,87 млн м^3 приходится на стоки хвостохранилища АО «Карельский окатыш» [11]. Основные загрязняющие вещества в воде хвостохранилища АО «Карельский окатыш» – никель (0,017–0,025 мг/л), марганец (0,432–0,650 мг/л) и цинк (0,051–0,075 мг/л), а техногенном субстрате комбината – железо (39505–45120 мг/кг) [12]. Именно значительная аккумуляция тяжелых металлов никеля и железа была нами установлена в морской воде Лебяжьей и Керетской губ. Также наибольшую массу в составе загрязняющих веществ, сбрасываемых в водоемы бассейна Белого моря, составляют: марганец (2493 кг), магний (524357 кг), нитриты (8534 кг), взвешенные вещества (425 т), сульфаты (12602 т), фенолы (487 кг) [11].

Галофиты литорали *Triglochin maritima* и *Plantago maritima* активно накапливают всем растением Fe, Mn, Ni,Cu, Zn, Pb, все КБП металлов > 1, корнями больше (50–70 % от общего содержания элемента в растении), чем надземными органами (30–50 %), за исключением железа. 80 % всего железа в растении накапливается в корнях. Это связано с тем, что оба вида галофитов – многолетники, у которых сохраняются длительное время хорошо развитые подземные органы [1].

Однако считается, что, несмотря на существенную изменчивость в способности различных растений к накоплению тяжелых металлов, аккумуляция элементов имеет определенную тенденцию. По степени накопления выделяется несколько групп элементов: 1) Zn, Cu, Pb – имеют среднюю степень поглощения, 2) Mn, Ni – слабо поглощаются и 3) Fe – труднодоступен растениям [13]. Ранее нами также показано, что в условиях техногенных ландшафтов железо, никель очень слабо накапливаются ивами-фиторемедиантами (КБП < 1) [12].

Триостренник морской *Triglochin maritima* имеет следующий ряд накопления металлов (в расчете на всё растение, в среднем по ПП1–ПП3): Ni (3,42) > Fe (2,08) > Cu (1,91) > Zn (1,84) > Pb (1,51) > Mn (1,31). А подорожник морской *Plantago maritima*: Cu (3,29) > Zn (2,81) > Ni (1,57) > Pb (1,30) > Mn (1,21) > Fe (0,97). Поэтому виды галофиты *Triglochin maritima* и *Plantago maritima* можно отнести к аккумуляторам тяжелых металлов в условиях литорали Белого моря.

Согласно современным представлениям, галофиты отличаются высокой устойчивостью к токсическому действию тяжелых металлов, способны как активно поглощать металлы из среды, так и выводить их из своих органов, снижая негативное действие поллютантов. У галофитов предполагается наличие физиолого-биохимических и молекулярных механизмов кросс-устойчивости к совместному действию солей и тяжелых металлов. В обзоре Van Osten с соавторами (2015) [13] из Университета Колорадо рассматриваются фиторемедиационная способность некоторых видов галофитов, механизмы детоксикации поллютантов. Например, виды рода *Spartina* (сем. Мятликовые) способны выводить токсические металлы Cr, Pb, Zn и Hg в кристаллах соли через солевые железы [14]. Показано, что некоторые галофиты адаптируются к окислительному стрессу, вызванному Cu, Cd и Pb, за счет снижения уровня АБК, синтеза фитохелатинов, который коррелирует с концентрацией хлорида натрия в среде [15]. Галофиты приморских территорий, солоноватых болот и скал *Armeria maritima*, *Atriplex halimus Atriplex nummularia*, *Halimione portulacoides*, *Limoniastrum monopetalum*, *Mesembryanthemum crystallinum*, *Salicornia brachiate, Sarcocornia perennis*, *Sedum plumbizincicola*, *Sesuvium portulacastrum* рассматриваются как виды устойчивые к действию тяжелых металлов и гипераккумуляторы последних [13].

Заключение

Литораль Белого моря – зона контакта моря и суши, подвергается негативному антропогенному воздействию, в том числе и в местах обитания доминантных видов галофитов – подорожника морского (*Plantago maritima* L.) и триостренника морского (*Triglochin maritima* L.). Эти виды активно накапливают тяжелые металлы и могут рас-

сматриваться как фиторемедианты приморских территорий.

Список литературы / References

1. Сергиенко Л.А., Дьячкова Т.Ю., Андросова В.И. Характеристика местообитаний и структура популяций *Triglochin maritima* L. (Juncaginaceae) в приливно-отливной зоне литорали Белого моря // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2017. № 2 (163). С. 57–63.

Sergienko L.A., D'yachkova T.Yu., Androsova V.I. Habitats 'characteristics and population structure of *Triglochin maritima* L. (Juncaginaceae)found in the white sea littoral // Proceedings of Petrozavodsk State University. 2017. № 2 (163). P. 57–63 (in Russian).

2. Марковская Е.Ф., Кособрюхов А.А., Морозова К.В., Гуляева Е.Н. Фотосинтез и анатомо-морфологическая характеристика листьев астры солончаковой на побережье Белого моря // Физиология растений. 2015. Т. 62. № 6. С. 847–853. DOI: 10.7868/S0015330315060123.

Markovskaya E.F., Morozova K.V., Gulyaeva E.N., Kosobryukhov A.A. Photosynthesis and anatomic–morphological characteristics of sea aster leaves on the White sea coast. Russian Journal of Plant Physiology. 2015. Т. 62. № 6. P. 830–836. DOI: 10.1134/S1021443715060126.

3. Гуляева Е.Н. Структурно-функциональные особенности листьев галофитов Белого моря в условиях техногенной нагрузки // Проблемы современной науки и образования. 2017. № 33 (115). С. 11–16.

Gulyaeva E.N. Structural and function features of the leaves of halophytes of the White sea under conditions of technogenic pollution // Problems of modern science and education. 2017. № 33 (115). P. 11–16 (in Russian).

4. Бреслина И.П. Приморские луга Кандалакшского залива Белого моря // Биолого-флористические исследования в связи с охраной природы в Заполярье. Сборник статей. Апатиты, 1980. С.132–143.

Breslin I.P. Seaside meadows of the Kandalaksha Bay of the White Sea // Biological and floristic studies in connection with the protection of nature in the Arctic. Digest of articles. Apatity, 1980. P. 132–143 (in Russian).

5. Oreshnikova N.V., Krasilnikov P.V., Shoba S.A Marsh soils of the Karelian shore of the White Sea. Moscow University Soil Science Bulletin. 2012. Т. 67. № 4. P. 152–158. DOI: 10.3103/S0147687412040035.

6. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Воробьевой Л.А. Изд. ГЕОС, 2006. 400 с.

Theory and practice of chemical analysis of soils / Pod red. Vorobevoy L.A.: GEOS, 2006. 400 p. (in Russian).

7. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд. АН СССР, 1957. 238 с.

Vinogradov A.P. Geochemistry of rare and scattered chemical elements in soils. M.: Izd. AN SSSR, 1957. 238 p. (in Russian).

8. Новиков М.А. К вопросу о фоновых значениях уровней содержания тяжелых металлов в донных отложениях Баренцева моря // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2017. Т. 20. № 1–2. С. 280–288. DOI: 10.21443/1560-9278-2017-20-1/2-280-288.

Novikov M.A. On the background values of heavy metal content in bottom sediments of the Barents Sea // Bulletin of the Murmansk State Technical University. 2017. Т. 20. № 1–2. P. 280–288 (in Russian).

9. Ильин Г.В., Усягина И.С., Касаткина Н.Е. Геоэкологическое состояние среды морей Российского сектора Арктики в условиях современных техногенных нагрузок // Вестник Кольского научного центра РАН. 2015. № 2 (21). С. 82–93.

Ilyin G.V., Usygina I.S., Kasatkina N.E. Geoecological state of seas in the environment in the Russian Arctic under the present technogenic stresses // Bulletin of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences. 2015. № 2 (21). P. 82–93 (in Russian).

10. Приказ министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 года № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». [Электронный ресурс]. URL: https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minselhoza-Rossii-ot-13.12.2016-N-552/ (дата обращения: 30.10.2019).

Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of December 13 2016 №. 552 «On the approval of water quality standards for water bodies of fishery value, including the standards of maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery value». [Electronic resource]. URL: https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minselhoza-Rossii-ot-13.12.2016-N-552/ (date of access: 30.10.2019) (in Russian).

11. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2017 г. Министерство природных ресурсов и экологии Республики Карелия / Под ред. Громцева А.Н. Петрозаводск, 2018. 292 с.

State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2017. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Republic of Karelia / Pod red. Gromtseva A.N. Petrozavodsk, 2018. 292 p. (in Russian).

12. Terebova E.N., Markovskaya E.F., Androsova V.I., Galibina N.A., Kaipiainen E.L. Potentioal for Salix schwerinii E. Wolf to uptake heavy metals in the contaminated territories of mining industry in the north-west Russia. Siberian Journal of Forest Science. 2017. № 1. P. 74–86. DOI: 10.15372/SJFS20170108.

13. Van Osten M.J., Maggio A. Functional biology of halophytes in the phytoremediation of heavy metal contaminated soils. Environmental and Experimental Botany. 2015. Vol. 111. P. 135–146. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2014.11.010.

14. Redondo-Gómez S. Bioaccumulation of heavy metals in Spartina. Funct. Plant Biology. 2013. Vol. 40. P. 913–921. DOI: 10.1071/FP12271.

15. Han R.-M., Lefèvre I., Albacete A., Pérez-Alfocea F., Barba-Espín G., Díaz-Vivancos P., Quinet M., Ruan C.-J., Hernández J.A., Cantero-Navarro E., Lutts S. Antioxidant enzyme activities and hormonal status in response to Cd stress in the wetland halophyte Kosteletzkya virginica under saline conditions. Physiologia Plantarum. 2013. Vol. 147. P. 352–368. DOI: 10.1111/j.1399-3054.2012.01667.x.

УДК 911(571.12)

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ ТУРИСТСКИХ РЕСУРСОВ В СОЦИОКУЛЬТУРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ТЮМЕНИ

[1]Третьякова О.В., [2]Созонова Е.Ю.

[1]ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: 33909074@mail.ru;
[2]ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», Тюмень, e-mail: e.y.sozonova@utmn.ru

Мировая экономика определяет современный туризм как динамично развивающуюся и высокодоходную отрасль. Россия стремится попасть в десятку стран лидеров по въездному туризму, адекватно развивая индустрию туризма. Благодаря такому подходу туризм может приносить значительные экономические выгоды соответствующему региону, без каких-либо экологических или социальных проблем. В таких условиях туристские ресурсы будут тиражироваться для дальнейшего использования в будущем. Согласованная работа всего комплекса предприятий индустрии гостеприимства, внедрение современных методов и подходов в обслуживании позволяют полностью удовлетворить потребности путешествующих. Туристу, готовящемуся к поездке, а также во время нее нужна достоверная информация о месте пребывания, правилах и обычаях местности, схеме автомобильных дорог. С этой целью индустрия туризма располагает разнообразными информационными и рекламными услугами, которые позволяют получить полную информацию о путешествии. На удовлетворении спроса на отечественный туристский продукт негативно сказывается дефицит соответствующей информации об объектах индустрии гостеприимства. Город Тюмень имеет большой потенциал к развитию въездного туризма. Однако инфраструктура города недостаточно адаптирована для иностранных туристов, что снижает их поток. Улучшение качества системы навигации и ориентирующей информации сделает пребывание иностранных гостей более приятным и комфортным, что может увеличить поток туристов в город. Цель работы: выяснить, соответствует ли уровень развития информационного отображения социокультурного пространства Тюмени стандартам для въездного и внутреннего туризма. Практическая значимость заключается в возможности использовать результаты работы в формировании адекватной информационной среды города и улучшении качества информационного отображения социокультурного пространства.

Ключевые слова: социокультурное пространство, туризм, информационная среда города, туристская дестинация, туристская индустрия

CHARACTERISTIC OF TERRITORIAL PERCEPTION OF TOURIST RESOURCES IN THE SOCIO-CULTURAL SPACE OF TYUMEN

[1]Tretyakova O.V., [2]Sozonova E.Yu.

[1]Industrial University of Tyumen, Tyumen, e-mail: 33909074@mail.ru;
[2]Tyumen State University, Tyumen, e-mail: e.y.sozonova@utmn.ru

The world economy defines modern tourism as a dynamically developing and highly profitable industry. Russia strives to get into the top ten countries in inbound tourism, adequately developing the tourism industry. Through this approach, tourism can bring significant economic benefits to the region concerned, without any environmental or social problems. In such circumstances, tourist resources will be replicated for further use in the future. Coordinated work of the entire complex of enterprises of the hospitality industry, the introduction of modern methods and approaches to service can fully meet the needs of travelers. Tourists preparing for the trip, as well as during it, need reliable information about the place of stay, the rules and customs of the area, the scheme of roads. To this end, the tourism industry has a variety of information and advertising services that allow you to get full information about the trip. Currently, there is a significant shortage of high-quality tourist information, especially in relation to the domestic tourism product, which negatively affects the satisfaction of growing demand, hinders its development. The city of Tyumen has a great potential for the development of inbound tourism. However, the infrastructure of the city is not adapted enough for foreign tourists, which reduces their flow. Improving the quality of the navigation system and orienting information will make the stay of foreign guests more pleasant and comfortable, which can increase the flow of tourists to the city. Purpose: to find out whether the level of development of information display of socio-cultural space of Tyumen standards for inbound and domestic tourism. Practical significance is the ability to use the results of the work in the formation of an adequate information environment of the city and improve the quality of information display of socio-cultural space.

Keywords: socio-cultural space, tourism, information environment of the city, tourist destination, tourist industry

Современная Россия стремится стать глобальной туристической дестинацией. «Создание в России развитой туристской индустрии и, как следствие, организация мощных туристических потоков как внутренних, так и внешних поможет решить многие социальные проблемы государства. Доходы от иностранного туризма могут стать бюджетообразующим фактором. Недостаточное количество недорогих гостиниц, слабо развитая инфраструктура индустрии гостеприимства останавливает иностранных туристов от посещения России» [1]. Наиболее популярными для иностранцев сегодня являются Москва и Санкт-Петербург, хотя въездной туризм не ограничивается этими

городами. Город Тюмень, как крупный город и областной центр, имеет большой потенциал к развитию въездного туризма. Однако инфраструктура города недостаточно адаптирована для иностранных туристов, что снижает их поток. Улучшение качества системы навигации и ориентирующей информации сделает пребывание иностранных гостей в нашем городе более понятным и комфортным, что поможет увеличить поток туристов в город.

Федеральный закон от 24.11.1996 г. № 132-ФЗ «Об основах туристской деятельности» определяет «систему навигации и ориентирования» как: «совокупность необходимой для ориентирования туристов информации о туристских ресурсах и об объектах туристской индустрии и средств размещения такой информации (информационных знаков, конструкций, сооружений, технических приспособлений и других носителей, предназначенных для распространения информации, за исключением рекламных конструкций)» [2].

Цель исследования: анализ соответствия уровня развития информационного отображения социокультурного пространства Тюмени стандартам въездного туризма.

Материалы и методы исследования

«Методологической основой работы в определенной степени является концепция социального пространства П. Сорокина, так как в его понимании социальное пространство объективно, оно имеет свою «телесность», структурированное народонаселение» [3]. Сравнивая социальное пространство со сложной сетью, образованной связями взаимодействия, он высказал ряд принципиальных положений, ставших своеобразными аксиомами: идея о его многомерности, которая задается различиями позиций индивидов и групп; о социальных дистанциях как особой шкале «мерности» социального пространства и их объективных основаниях. В его работах наметился подход к выделению разных сфер социального пространства в зависимости от стратификационных индикаторов.

Одно из направлений перехода к инновационному социально-ориентированному типу экономического развития отражено в Концепции социально-экономического развития Российской Федерации (на период до 2020 г.). Данный документ направлен на развитие человеческого потенциала России, через такие цели, как обеспечение качества и доступности услуг в сфере туризма; создание основ современной индустрии туризма и рекреационных услуг и повышение ее конкурентоспособности на международном рынке; содействие культурно-познавательному и экологическому туризму; формирование и развитие туристско-рекреационных зон с высоким уровнем обслуживания в районах с уникальными природно-климатическими условиями [4].

Ростуризм работает в данном направлении. Так в феврале 2015 г. была организована работа по согласованию установки знаков ориентирующей информации для туристов на федеральных и региональных маршрутах. В ходе рабочей встречи было решено увеличить количество информирующих знаков и внести соответствующие изменения в нормативные документы [5].

Администрацией Тюменской области в рамках реализации программы «Основные направления развития внутреннего и въездного туризма», были разработаны меры, направленные на решение проблем информированности о туристских ресурсах Тюменской области [6].

В г. Тюмени систематически проводятся работы по установке дорожных знаков информирующих туристов об объектах культурно-исторического наследия, а также указателей по направлению к основным объектам туристской индустрии [7]. Установка знаков туристской навигации является одним из этапов развития туристской инфраструктуры региона, целью которого является увеличение туристских потоков, посещаемости памятников культурного наследия, повышения доступности туристско-рекреационной инфраструктуры. Согласно Манильской декларации о мировом туризме, принятой 17 сентября 1980 г., туристские символы следует рассматривать как международный универсальный язык туризма.

Информационные указатели, содержащие информацию о туристской индустрии, позволяют туристам лучше ориентироваться в расположении достопримечательностей и планировать маршрут экскурсий. Установка знаков туристской навигации является одним из этапов в развитии туристской инфраструктуры региона.

На основе исследования международного опыта и рекомендаций Всемирной туристской организации в стране разработана общероссийская Система навигации и ориентирующей информации для туристов.

В Тюменском регионе проведена работа по установке туристских знаков, в изготовлении и монтаже участвовали организации ООО «Росдорзнак», ООО «Газпром-нефть»,

Администрация города Тюмени. Средняя стоимость одного знака составила 20 тыс. руб. (2014). Тем не менее этих мер недостаточно, следует подготовить проект оформления города Тюмени по мировой системе навигации и ориентирующей информации.

Результаты исследования и их обсуждение

Во время исследования была изучена историческая часть города от Тюменского индустриального университета (ул. Луначарского, 2) до Площади памяти – участок, содержащий наиболее привлекательные для иностранных туристов объекты, на предмет наличия туристских информационных знаков и инфоцентров.

В результате были обнаружены уличные знаки, указывающие названия улиц на английском языках: улицы Республики и Ленина (рис. 1). Далее таких знаков обнаружено не было.

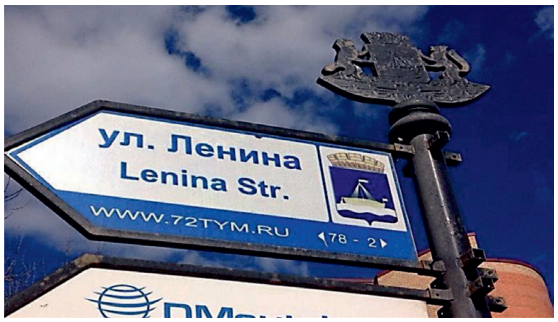


Рис. 1. Уличный знак, указывающий название улицы на русском и английском языках

В пределах изученного участка был найден один туристский знак по образцу brown signs на пересечении улиц Перекопская и Ленина (рис. 2). Знак указывает направление к дому Машарова, но данный знак только на русском языке.

Рис. 2. Уличный знак и туристский знак, указывающий направление к туристскому объекту

Также на основных туристских объектах – на площадях, строениях, в парках присутствуют QR-коды. Все они на русском языке, из чего можно сделать вывод, что для иностранных туристов QR-коды бесполезны (рис. 3).

Рис. 3. QR-коды на основных объектах туристского интереса г. Тюмени

На Цветном бульваре присутствовал (2015 г.) туристско-информационный центр (рис. 4). Согласно описанию, центр предоставлял справочную информацию о городе и области, включая достопримечательности и туристские маршруты, средства размещения, туристические компании, транспортные предприятия, пункты питания, а также предстоящие деловые и культурные мероприятия. Также в центре продавались буклеты, путеводители, карты, схемы и сувениры. Дополнительная информация предоставлялась по телефону. Центр работал без выходных. На деле же о существовании данного центра население не знало, а сам центр не работал, вход был перекрыт лавочкой, стены исписаны граффити. В настоящее время данный объект ликвидирован.

Рис. 4. Туристско-информационный центр на Цветном бульваре

В 2016 г. на базе музейного комплекса им. И.Я. Словцова создан новый туристско-информационный центр. Центр в рабочем состоянии, однако, будучи подведомственным Департаменту культуры Тюменской области, ТИЦ не сотрудничает с ним, что существенно ухудшает качество работы центра.

В 2016 г. разработаны и опубликованы путеводители по Тюменской области на четырех языках: русском, английском, немецком и китайском. Но, как показала практика, в данных путеводителях очень много опечаток, не во всех случаях информация достоверна.

В ходе исследования был проведен опрос среди иностранных гостей города с целью узнать, как они оценивают отображение инфраструктуры города, с какими проблемами они сталкиваются во время своего пребывания в нем, что они хотели бы изменить в городе в отношении информационного отображения инфраструктуры города.

Респондентам были заданы 5 вопросов:

1. Как вы ориентируетесь в городе, что используете для ориентации?

2. Откуда, помимо поисковых систем (Google и т.д.) вы берете информацию о городе Тюмени?

3. Каким образом вы устанавливаете контакт с работниками сферы обслуживания (в кафе, автобусах, гостиницах, торговых центрах)?

4. Если бы в Тюмени были созданы специализированные знаки, Qr-коды, путеводители, содержащие информацию об инфраструктуре города, сделало бы это ваше пребывание в нем более комфортным?

5. Что бы вы могли порекомендовать, что можно создать или улучшить в городе Тюмени, чтобы сделать ваше пребывание в нем более комфортным?

В результате опроса были получены следующие ответы:

Для ориентации в пространстве города все респонденты используют электронные карты, такие как Google maps, 2GIS. Информацию о городе Тюмени они находят в Google, 2GIS, только один респондент указал тюменский сайт GoToTyumen. С работниками сферы обслуживания гости города общаются только на русском языке, на каком бы уровне они им ни владели. Все опрошенные считают, что наличие специализированных туристских знаков, путеводителей, QR-кодов значительно упростило бы их передвижение по городу, ориентирование в нем.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что г. Тюмень совершенно не адаптирован для иностранных туристов и въездного туризма. Иностранные туристы просто не в состоянии будут передвигаться по городу без услуг гида-переводчика.

Заключение

В процессе работы дана характеристика явлений и объектов материальной и духовной жизни города. Рассмотрены объекты социокультурного пространства города, дана оценка их информационного отображения.

Анализ текущего состояния системы навигации для туристов показал, что объектов навигации в городе мало и они не соответствуют стандартам, принятым в России и за рубежом. Основной проблемой является то, что вся информация, имеющаяся на туристских знаках, представлена только на русском языке, что делает их бесполезными для иностранных туристов. Для дальнейшего развития въездного туризма требуется доступ к навигационной информации для туристов в виде туристских знаков, карт, брошюр на иностранных языках.

Город Тюмень обладает достаточным потенциалом, однако недостаточность условий восприятия туристских ресурсов и возможностей, в том числе наличие туристских объектов, которые остаются невостребованными из-за неразвитой инфраструктуры, создают препятствия для развития въездного туризма.

Список литературы / References

1. Третьякова О.В., Созонова Е.Ю. Устойчивое развитие рекреационного комплекса Тюменской области // Успехи современного естествознания. 2016. № 7. С. 173–178.

Tretyakova O.V., Sozonova Y.Yu. Sustainable development of recreational facilities in the Tyumen region // Advances in current natural sciences. 2016. № 7. P. 173–178 (in Russian).

2. Федеральный закон от 24.11.1996 года №132-ФЗ «Об основах туристской деятельности в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_12462/ (дата обращения: 20.10.2019).

Federal law of 24.11.1996 №132-FZ «On the basics of tourist activity in the Russian Federation» [Electronic resource]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_12462/ (date of access: 20.10.2019) (in Russian).

3. Третьякова О.В. Проектирование в системе управления социального пространства города: дис. … канд. социол. наук: 22.00.08. Тюмень, 2009. 167 с.

Tretyakova O.V. Design in the management system of the social space of the city: dis. … kand. sotsiol. nauk: 22.00.08. Tyumen, 2009. 167 p. (in Russian).

4. Петрова Е.В. Социокультурные аспекты туризма в современной России: социологический анализ: автореф. дис. … канд. социол. наук. Москва, 2009. 24 с.

Petrova Ye.V. Sociocultural aspects of tourism in modern Russia: a sociological analysis: avtoref. dis. … kand. sotsiol. nauk. Moscow, 2009. 24 p. (in Russian).

5. Руководитель Ростуризма Олег Сафонов провел рабочее совещание по согласованию установки знаков ориентирующей информации. Министерство культуры Российский Федерации. Федеральное агентство по туризму [Электронный ресурс]. URL: http://www.russiatourism.ru/news/6075/ (дата обращения: 20.10.2019).

The head of the Federal Tourism Agency Oleg Safonov held a working meeting on the coordination of the installation of signs of orienting information. Ministry of Culture of the Russian Federation. Federal Agency for Tourism. [Electronic resource]. URL: http://www.russiatourism.ru/news/6075/ (date of access: 20.10.2019) (in Russian).

6. Государственная программа Тюменской области «Основные направления развития внутреннего и въездного туризма» до 2020 года. [Электронный ресурс]. URL: https://admtyumen.ru/ogv_ru/finance/programs/program.htm?id=1155@egTargetGrant (дата обращения: 20.10.2019).

State program of the Tyumen region «The main directions of the development of domestic and inbound tourism» until 2020. [Electronic resource]. URL: https://admtyumen.ru/ogv_ru/finance/programs/program.htm?id=1155@egTargetGrant (date of access: 20.10.2019) (in Russian).

7. В Тюмени установлены знаки туристской навигации [Электронный ресурс]. URL: http://www.tyumen-region.ru/news/tourism/5392/ (дата обращения: 20.10.2019).

Tyumen signs for tourist navigation [Electronic resource]. URL: http://www.tyumen-region.ru/news/tourism/5392/ (date of access: 20.10.2019) (in Russian).

УДК 553:66.061.34:579.66

БИОВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ СУЛЬФИДНОЙ КОБАЛЬТ-МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ РУДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТАНДАРТНОЙ И МОДИФИЦИРОВАННОЙ СРЕД 9К

Хайнасова Т.С.

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

В условиях дефицита металлов для ряда промышленных производств существует потребность в развитии технологий эффективного извлечения ценных компонентов из минерального сырья. Часть востребованных металлов, таких как медь, никель и кобальт, сосредоточена в сульфидных медно-никелевых рудах, переработка которых осложняется при применении традиционных химических технологий. Биогидрометаллургия, использующая особенности энергетического обмена микроорганизмов в катализе окислительных реакций, является их альтернативой. Создание определенных условий (например, высокая температура, окислительная активность микроорганизмов, химический состав растворов, доступность окисляющих агентов и прочее) оказывает влияние на биовыщелачивание сульфидов металлов. Принято считать, что хлорид-ионы могут улучшать кинетику растворения сульфидных минералов, в частности халькопирита. В работе приведены результаты сравнительного лабораторного исследования биовыщелачивания сульфидной кобальт-медно-никелевой руды месторождения Шануч (Камчатский край), минеральный состав которой характеризовался присутствием пирротин-пентландит-халькопиритовой ассоциации, с применением стандартной питательной среды для микроорганизмов 9К и ее модифицированным вариантом (9KCl) – с заменой сульфатных форм на хлоридные. Показано, что биовыщелачивание позволяло получать растворы с концентрацией никеля 1,35 ± 0,19 и 1,24 ± 0,17 г/л, меди 0,074 ± 0,01 и 0,081 ± 0,01 г/л, кобальта 0,032 ± 0,01 и 0,029 ± 0,01 г/л соответственно для 9К и 9KCl. При этом извлечение металлов в обоих вариантах не превышало 30 % для никеля и кобальта, а в случае с медью наблюдали осаждение металла. Принимая во внимание признанное положительное влияние хлорид-ионов в растворе на биовыщелачивание халькопирита, подобного эффекта для полиметаллической руды обнаружено не было. Оптимальной для извлечения меди и остальных металлов (никеля и кобальта) являлась стандартная питательная среда 9К.

Ключевые слова: биовыщелачивание, халькопирит, медь, никель, кобальт, хлорид-ионы

BIOLEACHING OF SULFIDE COBALT-COPPER-NICKEL ORE USING THE STANDARD AND MODIFIED 9K MEDIA

Khaynasova T.S.

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

In the context of metal deficit for industry there is a need for the development of technologies for the efficient extraction of valuable components from mineral raw materials. Some of the metals in demand such as copper, nickel and cobalt are contained in sulfide copper-nickel ores the processing of which is complicated by the use of traditional chemical technologies. Biohydrometallurgy using the features of the energy metabolism of microorganisms in the catalysis of oxidative reactions is their alternative. The creation of certain conditions (for example, high temperature, the oxidizing activity of microorganisms, the chemical composition of solutions, the availability of oxidizing agents, etc.) affects the bioleaching of metal sulfides. It is believed that chloride ions can improve the kinetics of the dissolution of sulfide minerals in particular chalcopyrite. The paper presents the results of a comparative laboratory study of the bioleaching of sulfide cobalt-copper-nickel ore from the Shanuch deposit (Kamchatka Krai) which included the pyrrhotite-pentlandite-chalcopyrite association using a standard nutrient medium for microorganisms 9K and its modified version (9KCl) with replacement sulfate forms to chloride ones. It was shown that bioleaching made it possible to obtain solutions with a nickel concentration of 1,35 ± 0,19 and 1,24 ± 0,17 g/l, copper 0,074 ± 0,01 and 0,081 ± 0,01 g/l, cobalt 0,032 ± 0, 01 and 0,029 ± 0,01 g/l for 9K and 9KCl, respectively. Moreover, the recovery of metals in both cases did not exceed 30 % for nickel and cobalt. Copper deposition was observed. Taking into account the recognized positive effect of chloride ions in solution on the bioleaching of chalcopyrite no similar effect was found for polymetallic ore in the study. The standard nutrient medium 9K was optimal for the extraction of copper and other metals (nickel and cobalt).

Keywords: bioleaching, chalcopyrite, copper, nickel, cobalt, chloride ions

В настоящее время на мировом рынке ожидается увеличение спроса на некоторые металлы. Несмотря на открытие новых месторождений богатых и низкосортных руд, наблюдается потребность в меди и цинке для ряда промышленных производств, которая по прогнозам будет увеличиваться до 2025 г. [1]. К востребованным металлам также относят никель, железо, кобальт, золото, серебро, индий, рутений, галлий, палладий, платину, редкоземельные металлы и другие.

Никель, медь и кобальт сосредоточены в сульфидной руде. На долю меди в сульфидах приходится до 80 %. Месторождения медно-никелевых сульфидных руд относят к категории промышленных [2]. Традиционно сульфиды концентрируются и направ-

ляются на высокотемпературную плавку. Однако плохо ей поддаются два типа медно-никелевых руд: 1) руды, в которых пентландит находится в виде тонких включений в пирротине; 2) так называемые руды Duluth Gabbro (Дулут Габбро, Миннесота, США), которые сложно разделить на медные и никелевые концентраты [3]. В связи с этим актуальность приобретают биогидрометаллургические способы их переработки.

Биогидрометаллургия является подразделением гидрометаллургии, которое использует особенности энергетического обмена микроорганизмов в катализе некоторых окислительных реакций. Данные реакции обеспечивают извлечение металлов из минерального сырья. В настоящее время разработанные технологии бактериально-химического выщелачивания и окисления являются альтернативой некоторым химическим технологиям. Несмотря на то, что они уступают в скорости процесса, неоспоримыми их преимуществами являются возможность использования в переработке низкосортных руд, отсутствие вредных выбросов, умеренное капиталовложение и низкие эксплуатационные затраты [4]. В промышленном масштабе применяют относительно дешевое дамповое и кучное биовыщелачивание, обладающее системой орошения, и биовыщелачивание в энергоемких реакторах с механическим перемешиванием. Выбор технологии переработки зависит, прежде всего, от стоимости извлечения металла и сорта минерального сырья [5].

Для сульфидных медно-никелевых руд характерен минеральный состав, представленный пирротином, пентландитом, халькопиритом и другими сульфидами. Как правило, в бактериально-химических процессах медьсодержащий халькопирит плохо подвергается выщелачиванию [6].

Состав питательной среды для микроорганизмов имеет принципиальное значение для бактериально-химических процессов. Часто используемой является среда Сильвермана и Люндгрена (9К), а также ее различные модификации [7]. Как правило, 9К применяют в виде раствора сульфатных форм солей различной концентрации и без железа.

Известно, что хлорид-ионы могут благоприятно влиять на биовыщелачивание [8, 9]. В работе Бобадилла – Фаццини [9] показано увеличение кинетики растворения халькопирита бактериями *Sulfobacillus thermosulfidooxidans* при 50 °C в присутствии хлорид-ионов.

Таким образом, интересным представляется изучение эффекта ионов хлора на кинетику растворения медьсодержащего халькопирита, присутствующего в руде в виде привычной минеральной ассоциации с пентландитом и пирротином.

Цель работы: исследовать влияние замены сульфатных форм солей на хлоридные в питательной среде 9К на биовыщелачивание меди и остальных ценных металлов (никеля и кобальта) из сульфидной кобальт-медно-никелевой руды.

Материалы и методы исследования

Образец руды. Для исследования применяли измельченную, просеянную и квартованную сульфидную кобальт-медно-никелевую руду месторождения Шануч (Камчатский край), состоящую из 60 % сульфидных (рудных) и 40 % нерудных минералов. Состав рудных минералов представлен пирротином ($Fe_{1-x}S$) – 85–90 %, пентландитом ($(Fe, Ni)_9S_8$) – 5–6 %, халькопиритом ($CuFeS_2$) – 2–5 %, виоларитом ($FeNi_2S_4$) – 0,2–0,5 %. Степень измельчения экспериментальной пробы с содержанием никеля 4,32 ± 0,43 %, меди – 0,61 ± 0,09 %, кобальта – 0,094 ± 0,015 %, оксида железа – 29,46 ± 1,77 % составляла 100 мкм (~100 %).

Микроорганизмы. В качестве инокулята использовали сообщество ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов, выделенное из окисленной руды месторождения Шануч и культивируемое на руде данного месторождения в растворе минеральных солей 9К без железа. На основании высокопроизводительного секвенирования 16S рРНК установлено, что в микробной ассоциации присутствовали бактерии *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidiphilium* spp. и группа некультивированных микроорганизмов [10].

Условия эксперимента. Исследование проводили в периодическом режиме в лабораторных условиях в колбах Эрленмейера объемом 250 мл на качалке (158 об/мин) при комнатной температуре (22 °C). В состав жидкой фазы пульпы входило 120 мл раствора питательных солей и 30 мл культуры микроорганизмов. В качестве питательных сред использовали стандартную 9К без железа (9К) и 9К без железа с заменой сульфатных форм соединений на хлоридные (9KCl) с сохранением равных концентрации биогенных химических элементов. Подкисление производили до pH 1,8 соответственно 10H H_2SO_4 и 20 %-ной HCl. Химический состав сред представлен в табл. 1. Отношение посевного материала к питательной среде

составляло 1:4. Твердая фаза – 7,5 г руды. Отношение Т:Ж – 1:20. В ходе биовыщелачивания дополнительного подкисления раствора не производили. Продолжительность эксперимента составляла 15 суток при выходе на плато концентраций.

Таблица 1

Химический состав питательных сред

№	Наименование	Состав, г/л	Исходное pH
1	9К	$(NH_4)_2SO_4$ – 3 KCl – 0,1 $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$ – 0,65 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,5 $CaNO_3 \cdot 4H_2O$ – 0,01	1,8
2	9KCl	NH_4Cl – 2,43 KCl – 0,1 $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$ – 0,65 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ – 0,41 $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ – 0,01	1,8

Аналитические методы и вычисления. В ходе процесса, после осаждения руды, осуществляли измерение ключевых параметров: pH, Eh, количество клеток, концентрации $Fe^{2+}/Fe^{3+}/Fe_{общ}$, Ni^{2+}, Co^{2+}, Cu^{2+}.

Количество клеток в жидкой фазе пульпы определяли прямым подсчетом в микроскопе с фазово-контрастной насадкой «МИКРОМЕД 3 вар. 3-20» (Россия, Китай). Величины pH и Eh измеряли с помощью портативного мультимонитора pH и Eh «Kelilong PH-099-KL» (Kelilong Electron Co., Ltd, Китай). Концентрацию катионов железа в жидкой фазе пульпы определяли методом комплексонометрического титрования в присутствии трилона Б. Определение никеля, кобальта и меди в жидкой и твердой фазах осуществляли атомно-абсорбционным методом при помощи атомно-абсорбционного спектрофотометра Shimadzu AA-6300 (Shimadzu, Япония).

Вычисление извлечения металлов (*Me* (%)) производили согласно следующей формуле:

$$Me(\%) = 100\left(\frac{C_{Me\ в\ р\text{-}ре} V_{р\text{-}ра} - C_{Me\ в\ инок.} V_{инок.} + \sum C_{Me\ в\ образце\ р\text{-}ра} V_{образца\ р\text{-}ра}}{\frac{C_{Me\ в\ руде}}{100} m_{руды}}\right),$$

где $C_{Me\ в\ р\text{-}ре}$ – концентрация металла в растворе (г/л),

$V_{р\text{-}ра}$ – объем раствора (л),

$C_{Me\ в\ инок.}$ – концентрация металла в инокулята (г/л),

$V_{инок.}$ – объем используемого инокулята (л),

$C_{Me\ в\ образце\ р\text{-}ра}$ – концентрация металла в образце раствора, отданного на анализ (г/л),

$V_{образца\ р\text{-}ра}$ – объем образца раствора, отданного на анализ (л),

$C_{Me\ в\ руде}$ – содержание металла в исходной руде (%),

$m_{руды}$ – масса исходной руды (г).

Результаты исследования и их обсуждение

Процесс биовыщелачивания проводили с использованием полиметаллической руды месторождения Шануч, для которой определяется устойчивая пирротин-пентландит-халькопиритовая ассоциация. Для руды характерно тесное взаимное «прорастание» минералов и присутствие в их кристаллической решетке других атомов металлов: в пирротине – никеля, в пентландите – кобальта и меди, в халькопирите – кобальта [11].

Активизация окисления руды в первые сутки эксперимента сопровождалась расходом протонов водорода из питательных сред для бактерий (химическое выщелачивание) и, как следствие, повышением значений pH от 1,9 до 2,7 и 2,6 соответственно для вариантов с 9К и 9KCl. Отсутствие в дальнейшем существенного подкисления пульпы и увеличение pH (рис. 1) указывали на слабую сероокисляющую активность микроорганизмов в отношении сульфидов металлов в обоих случаях. Необходимо отметить, что величины pH на протяжении всего процесса в условиях с питательной средой 9KCl были ниже, чем с 9К.

Для исследуемой руды характерно высокое содержание пирротина. Особый интерес представлял процесс извлечения железа как показатель его разложения. Показано (рис. 2), что все железо находилось в трехвалентной форме на протяжении биовыщелачивания с тенденцией к снижению общего железа. Это свидетельствовало об интенсивной железоокисляющей активности микроорганизмов при использовании обеих сред, что подтверждалось высокими значениями окислительно-восстановитель-

ного потенциала (рис. 3). Снижение концентрации $Fe_{общ}$ было связано главным образом с высокими значениями pH, при которых выделяющееся в раствор железо формировало вторичные соединения в пульпе в виде осадков.

При оценке влияния замены сульфатов на хлориды в питательной среде на развитие микробной культуры установлено (рис. 4), что количество клеток было ниже в растворе с 9KCl. Это ожидаемо, так как микроорганизмы до эксперимента культивировались на стандартной 9K без соли железа и предварительной их адаптации к питательной среде с хлоридами произведено не было. Однако культура не угнеталась. Наблюдали схожие колебания количества клеток во всех вариантах эксперимента. Обнаруживали стадийность в развитии клеток как при 9K, так и при 9KCl.

Результаты проведенных исследований показали, что биовыщелачивание позволяет получать растворы с концентрацией никеля 1,35 ± 0,19 и 1,24 ± 0,17 г/л, меди 0,074 ± 0,01 и 0,081 ± 0,01 г/л, кобальта 0,032 ± 0,01 и 0,029 ± 0,01 г/л соответственно для 9K и 9KCl (рис. 5, а–в). Извлечение никеля при использовании обеих сред составляло 25,6 и 20,5 %, кобальта – 25,9 и 19,5 % (рис. 5, г, табл. 2). Таким образом, применение питательной среды 9KCl снижало процент выхода никеля в раствор на 20 %, кобальта на 25 %.

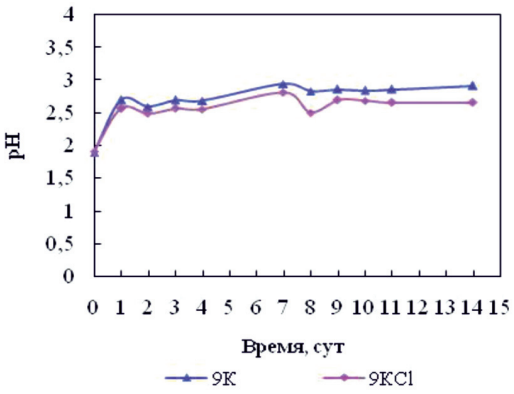


Рис. 1. Изменение pH в процессе биовыщелачивания сульфидной кобальт-медно-никелевой руды

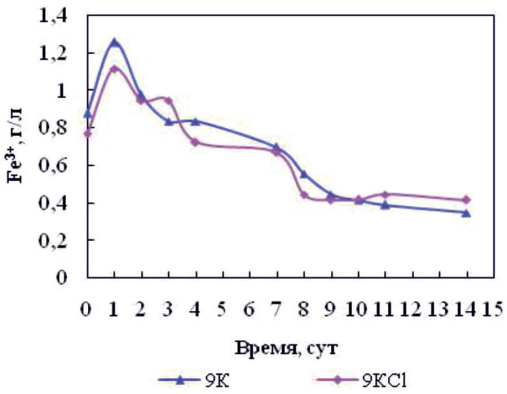


Рис. 2. Изменение концентрации трехвалентного железа в процессе биовыщелачивания сульфидной кобальт-медно-никелевой руды

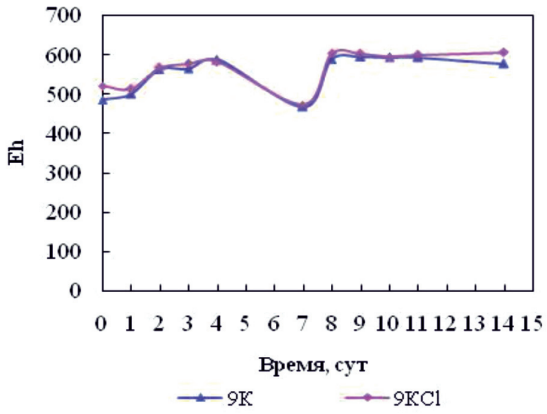


Рис. 3. Изменение окислительно-восстановительного потенциала в процессе биовыщелачивания сульфидной кобальт-медно-никелевой руды

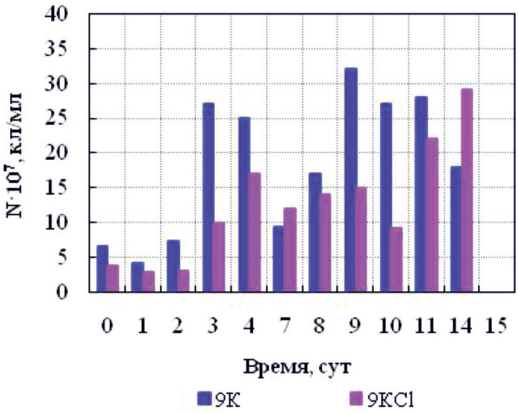


Рис. 4. Изменение количества клеток в процессе биовыщелачивания сульфидной кобальт-медно-никелевой руды

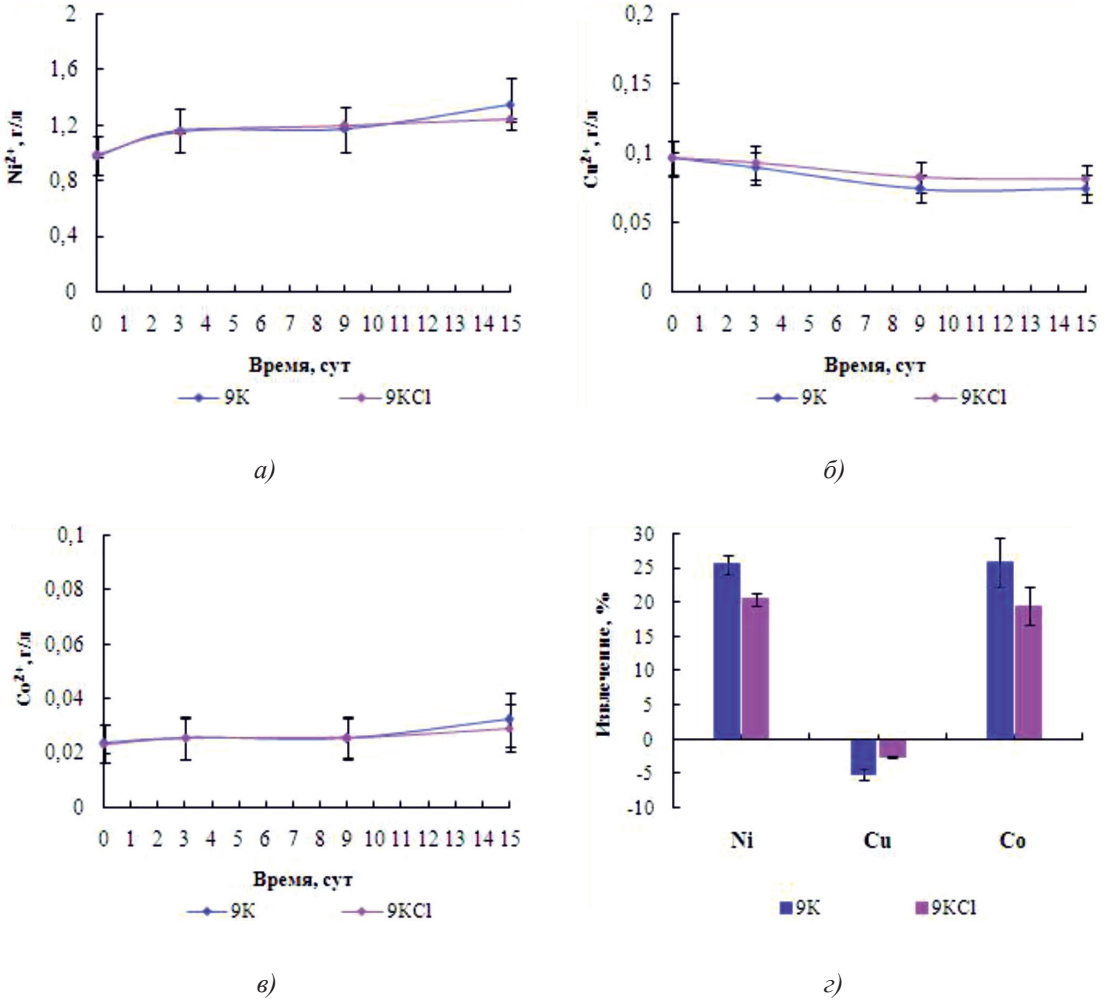


Рис. 5. Изменение концентрации никеля (а), меди (б), кобальта (в) в процессе биовыщелачивания сульфидной кобальт-медно-никелевой руды и извлечение металлов (г)

Таблица 2

Извлечение и скорость биовыщелачивания металлов

Время, сут	Ni		Cu		Co	
	9К	9КCl	9К	9КCl	9К	9КCl
Извлечение металлов, %						
–	25,6 ± 1,43	20,5 ± 0,86	–5 ± 0,74	–2,5 ± 0,07	25,9 ± 3,63	19,5 ± 2,69
Скорость биовыщелачивания металлов, мг/л·сут						
3	61 ± 8,35	57 ± 8,00	–2 ± 0,31	–1 ± 0,17	1 ± 0,20	1 ± 0,20
9	3 ± 0,68	13 ± 2,01	–5 ± 0,51	–3 ± 0,51	0 ± 0	0 ± 0
15	60 ± 8,30	17 ± 2,36	2 ± 1,54	–3 ± 1,54	2 ± 0,72	1 ± 0,35

В случае с медью наблюдали осаждение металла и в 9К, и в 9КCl. Однако в присутствии хлорид-ионов образование осадков с Cu в пульпе происходило с меньшей скоростью, чем при сульфатных формах солей.

Анализ скоростей биовыщелачивания (табл. 2) показал ранее выявленную стадийность в извлечении металлов [6], которая была ярче выражена в среде 9К. Третьи и пятнадцатые сутки биовыщелачивания характеризовались увеличением скоростей

растворения металлов, главным образом никеля и кобальта.

Таким образом, в ходе исследования биовыщелачивания полиметаллической медно-никелевой руды месторождения Шануч не было обнаружено положительного эффекта от применения питательной среды с хлорид-ионами. При сравнении ключевых параметров процесса установлено, что концентрация железа и окислительно-восстановительный потенциал раствора были приблизительно на одном уровне в средах 9К и 9КCl. Количество клеток в варианте с хлоридами было ниже, чем в варианте с сульфатами, что связано с отсутствием предварительной адаптации микроорганизмов. Положительным эффектом применения 9КCl было поддержание более низких значений pH, что является препятствием к формированию вторичных гидратных форм соединений с железом и осаждению их в растворе. Оптимальной для извлечения меди и остальных металлов (никеля и кобальта) из полиметаллической руды являлась стандартная питательная среда 9К.

Заключение

Химический состав раствора в биовыщелачивающей системе, который на начальном этапе представлен солями питательной среды для микроорганизмов, имеет принципиальное значение. Принято считать, что хлорид-ионы оказывают положительное влияние на кинетику растворения медьсодержащего халькопирита.

В ходе настоящего исследования биовыщелачивания сульфидной кобальт-медно-никелевой руды, представленной пирротин-пентландит-халькопиритовой ассоциацией, в лабораторных условиях при температуре 22 °C установлено, что влияние замены сульфатных форм солей в традиционно используемой питательной среде 9К на хлоридные не оказало ожидаемого положительного эффекта, который наблюдают для халькопирита при более высоких температурах. Оптимальной для извлечения меди и остальных металлов (никеля и кобальта) из полиметаллической руды являлась стандартная 9К. При этом установлено, что извлечение не превышало 30 % для никеля и кобальта. В случае с медью наблюдали осаждение металла, скорость которого в присутствии хлорид-ионов была ниже, чем в среде с сульфатами. Единственный положительный момент применения 9КCl заключался в поддержании более низких значений pH в течение биовыщелачивания.

Список литературы / References

1. Watling H.R. Review of biohydrometallurgical metals extraction from polymetallic mineral resources. Minerals. 2015. vol. 5. P. 1–60. DOI: 10.3390/min5010001.

2. Старостин В.И. Медные руды. [Электронный ресурс]. URL: https://bigenc.ru/geology/text/2198278 (дата обращения: 16.10.2019).

Starostin V.I. Copper ores. [Electronic resource]. URL: https://bigenc.ru/geology/text/2198278 (date of access: 16.10.2019) (in Russian).

3. Watling H.R. The bioleaching of nickel-copper sulfides. Hydrometallurgy. 2008. vol. 91 P. 70–88. DOI: 10.1016/j.hydromet.2007.11.012.

4. Watling H.R., Watkin E.L.J., Ralph D.E. The resilience and versatility of acidophiles that contribute to the bioassisted extraction of metals from mineral sulfides. Environmental Technology. 2010. vol. 31. no. 8. P. 915–933. DOI: 10.1080/09593331003646646.

5. Watling H. Microbiological advances in biohydrometallurgy. Minerals. 2016. vol. 6. no. 49. P. 1–19. DOI: 10.3390/min6020049.

6. Трухин Ю.П., Хайнасова Т.С. Исследование кинетики и механизма биовыщелачивания сульфидной Co-Cu-Ni руды в периодическом режиме // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 10. С. 111–117.

Trukhin Yu.P., Khainasova T.S. Research of the kinetics and mechanisms of bioleaching of the sulphidic Co-Cu-Ni ore in the periodic mode // Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2011. № 10. P. 111–117 (in Russian).

7. Левенец О.О., Хайнасова Т.С., Балыков А.А., Позолотина Л.А. Биовыщелачивание сульфидной кобальт-медно-никелевой руды с вариациями питательной среды для хемолитотрофных микроорганизмов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Камчатка-2. Специальный выпуск 31. 2015. № 11. С. 291–296.

Levenets O.O., Khainasova T.S., Balykov A.A., Pozolotina L.A. Bioleaching of sulfide cobalt-copper-nickel ore with variations of nutrient medium for chemolithotrophic microorganisms // Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). Kamchatka-2. Spetsial'nyi vypusk 31. 2015. № 11. P. 291–296 (in Russian).

8. Watling H.R. The bioleaching of sulphide minerals with emphasis on copper sulphides – a review. Hydrometallurgy. 2006. vol. 84. P. 81–108. DOI:10.1016/j.hydromet.2006.05.001.

9. Bobadilla-Fazzini R.A., Cortés M.P., Maass A., Parada P. *Sulfobacillus thermosulfidooxidans* strain Cutipay enhances chalcopyrite bioleaching under moderate thermophilic conditions in the presence of chloride ion. AMB Express. 2014. vol. 4. no. 84. P. 1–5. DOI: 10.1186/s13568-014-0084-1.

10. Хайнасова Т.С., Пашкевич Р.И. Таксономический анализ культуры ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов, принимающей участие в биовыщелачивании сульфидной руды месторождения Шануч // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 10. С. 28–33.

Khainasova T.S., Pashkevich R.I. Taxonomic analysis of the acidophilic chemolithotrophic microorganism culture taking part in bioleaching of sulphide ore of the Shanuch deposit // Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovanii. 2019. № 10. P. 28–33 (in Russian).

11. Кунгурова В.Е. Минералогический и вещественный состав сульфидной руды, использованной в экспериментах по бактериально-химическому выщелачиванию (месторождение Шануч, Камчатка) // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Камчатка-3. Специальный выпуск 31. 2016. № 11. С. 319–327.

Kungurova V.E. Mineralogical and mineral composition of sulfide ore used in the experiments of bacterial-chemical leaching (Shanuch deposit, Kamchatka) // Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). Kamchatka-3. Spetsial'nyi vypusk 31. 2016. № 11. P. 319–327 (in Russian).

УДК 504.53:631.417(571.54/.55)

НЕСПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА ЛЕСОСТЕПНЫХ И СТЕПНЫХ ПОЧВ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Чимитдоржиева Э.О., Чимитдоржиева Г.Д., Цыбенов Ю.Б., Мильхеев Е.Ю., Егорова Р.А.

ФГБУН «Институт общей и экспериментальной биологии» СО РАН, Улан-Удэ, e-mail: erzhena_ch@mail.ru

В Забайкалье в жестких условиях криоаридного климата, при ярко выраженной сухости воздуха и почв, пониженном температурном режиме окружающей среды и постоянным воздействием большого запаса почвенного холода, растительность как фактор почвообразования в процессе многовековой эволюции выработала особые черты приспособления как в морфологии, так и химическом составе. В растительном покрове основная масса растений принадлежит к группе ксерофитов, которые сформировались и функционируют, с одной стороны, в условиях длительной сезонной мерзлоты. Такие экстремальные условия определяют специфику всех биологических процессов. Обитая при высоких амплитудах суточных и сезонных температур, растения формируют своеобразные адаптационные особенности биохимического состава. Так, впервые дана количественная характеристика компонентов неспецифического органического вещества почв лесостепных и степных почв Забайкалья. Выявлено, что содержание липидов в черноземах в верхнем слое в 3 раза больше, чем в серых лесных почвах. Выявлена особенность в их профильном распределении: в черноземах – убывающий характер, т.е. в минеральных горизонтах содержание липидов меньше, чем в гумусовом; а в серых лесных почвах – кривая возрастающая с последующим убыванием. В серых лесных почвах содержание углеводов в 3 раза меньше, чем в черноземах. Внутрипрофильное распределение общего содержания углеводов повторяет характер распределения липидов. Выявлено, что в черноземах общее содержание лигнина в верхнем слое почвы составляет 27,4 мг/г Сорг, вниз по профилю его содержание убывает почти в 7 раз в слое 20–30 см. Для исследуемых черноземов характерна закономерность – убывание содержания фенолов в ряду: ванилиновые – сирингиловые – цинамиловые. Для серых лесных почв общее содержание лигнина равно 11,6 мг/г Сорг в слое 0–20 см, характер содержания фенолов лигнина иной, чем в черноземах: ванилиновые – цинамиловые – сирингиловые.

Ключевые слова: углерод, липиды, углеводы, лигнин, серая лесная почва, чернозем дисперсно-карбонатный, Забайкалье

NON-SPECIFIC ORGANIC SUBSTANCES OF FOREST-STEPPE AND STEPPE SOILS OF TRANSBAIKALIA

Chimitdorzhieva E.O., Chimitdorzhieva G.D., Tsybenov Yu.B., Milkheev E.Yu., Egorova R.A.

Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, e-mail: erzhena_ch@mail.ru

In Transbaikalia, under severe conditions of a cryoarid climate, with pronounced dryness of air and soils, a low temperature regime ofthe environment and constant exposure to a large reserve of soil cold, plant, as a factor in soil formation has developed adaptation in morphology and chemical composition. For the first time a quantitative characteristic of the components of nonspecific organic matter of soils of forest-steppe and steppe soils of Transbaikalia is given. It was revealed that the lipid content in chernozems in the upper layer is 3 times higher than in gray forest soils. A feature was revealed in their profile distribution: in chernozems, a decreasing character, i.e. in the mineral horizons, the lipid content is less than in the humus; and in gray forest soils – a curve increasing with subsequent decrease. In gray forest soils, the carbohydrate content is 3 times less than in chernozems. Intra-profile distribution of total carbohydrate content follows the pattern of lipid distribution. It was revealed that chernozem the total lignin content in the topsoil is 27.4 mg / g Corg, down the profile its content decreases almost 7 times in the 20-30 cm layer. The studied chernozems are characterized by a regularity – a decrease in the phenol content in the series: vanillin – syringyl – cinnamyl. For gray forest soils, the total lignin content is 11.6 mg / g Corg in the 0–20 cm layer, the nature of the lignin phenol content is different than in chernozems: vanillin – cinnamyl – syringyl.

Keywords: carbon, lipids, carbohydrates, lignin, gray forest soil, dispersed carbonate chernozem, Transbaikalia

Неспецифические органические вещества (НОВ) – это вещества, которые образуются из отмерших растительных и животных остатков, характеризующиеся различным химическим составом. Они принимают участие во внутрипочвенном разложении минералов и синтезе органо-минеральных соединений, также они являются хорошими структурообразователями и характеризуются высокой физиологической активностью. К неспецифическим компонентам почвенного органического вещества относятся углеводы, липиды, лигнин и некоторые другие соединения.

Индивидуальные химические соединения играют большую роль в процессах почвообразования, и их накопление зависит от зонально-генетических особенностей почвы. В составе гумуса содержание углеводов и липидов увеличивается в ряду от черно-

земов к подзолистым почвам. Можно отметить, что содержание и состав НОВ является важной характеристикой почв. Из НОВ углеводы и лигнин составляют «львиную» долю растительных остатков, где последние имеют различный химический состав, в зависимости от видовой принадлежности и экологических особенностей места их произрастания, что, несомненно, отражается на характере гумификации.

Углеводы играют важную роль в наземном углеродном цикле [1]. Участвуя во многих химических реакциях, они образуют соединения с тяжелыми металлами; вступая во взаимодействие с глинистыми минералами, способствуют созданию структуры почвы. Углеводы выступают важным источником углерода (С) и энергии для микроорганизмов почв, а также способствуют развитию корней растений. Содержание их в почвах зависит от типа почвы и типа землепользования.

Липиды – это сборная группа органических соединений, не имеющих единой химической характеристики. Они характеризуются чуткой реакцией на изменение экзогенных условий, так же как и углеводы выступают источником энергии для почвенных микроорганизмов, поэтому их можно использовать для индикации интенсивности биохимических процессов, происходящих в почвах. Содержание липидов значительно влияет на водный и питательный почвенные режимы. Липиды играют важную роль в физических свойствах почвы, часто используются в качестве маркеров для реконструкции структуры растительности или для исследования оборота и происхождения органического вещества почвы [2]. Количество липидов может варьировать в разных типах почв. Концентрация липидов в почве может в значительной степени регулироваться органо-минеральными компонентами.

Наиболее распространенным ароматическим растительным биополимером наземных экосистем, вторым компонентом после углеводов по распространенности в природе является лигнин. В ходе биосинтеза на планете образуется каждый год примерно 30–40 млрд т лигнина. Ароматические дериваты лигнина фактически обнаружены во всех наземных растениях. Главным резервуаром лигнина в биосфере являются почвы в разных природных зонах и различных экосистем. Одинаковых лигнинов в природе нет, в отличие от целлюлоз, структура которых идентична для всех растений. Структура лигнина может изменяться в результате действия экзогенных факторов, а также в процессе онто- и филогенеза. Эти изменения направлены на наилучшее обеспечение и эффективное выполнение лигнином его функций в растении, в том числе на повышение устойчивости к низким температурам и другим стрессам. Уникальность лигнина заключается в многообразии структурных единиц, из которых он построен, и в поливалентности типов связей между ними [3].

Неспецифические органические вещества почв Забайкалья изучены фрагментарно [4]. Отсюда, целью нашего исследования была оценка общего содержания НОВ (липиды, углеводы, лигнин) лесостепных и степных почв Забайкалья.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования являлись серая лесная почва (Кабанский район, пашня) и чернозем дисперсно-карбонатный (Мухоршибирский район, целина). В июле 2018 г. были заложены два почвенных разреза, проведен отбор образцов с шагом 10 см для проведения последующих анализов в трехкратной повторности. Основные анализы проведены на базе лаборатории биохимии почв ИОЭБ СО РАН (г. Улан-Удэ). Лигнин в почвах определен в Институте почвоведения Ганноверского университета им. Готфрида Вильгельма Лейбница (г. Ганновер, Германия).

Исследуемый регион характеризуется резко континентальным климатом, жестким режимами температуры и влаги. Серые лесные почвы и черноземы являются длительно-сезоннопромерзающими (5–7 месяцев находятся в промерзшем состоянии), промерзая до 240–270 см. За год выпадает 300–350 мм, коэффициент увлажнения весной и ранним летом очень низкий (0,13–0,29), а летом в июле и августе достигает единицы.

Черноземы характеризуются содержанием гумуса 5,3 %, легкосуглинистым гранулометрическим составом, невысокой суммой обменных оснований (29,7 мг•экв/100 г почвы). Реакция среды в гумусово-аккумулятивном горизонте pH = 6,7–6,9, а в средней и нижней частях профиля слабощелочная с переходом в щелочную реакцию почвенного раствора.

Для серых лесных почв характерно низкое содержанием гумуса 3,9 %, легкосуглинистый гранулометрический состав, невысокая сумма обменных оснований (19,5 мг•экв/100 г почвы), а также близкая к нейтральной реакция среды.

Общее содержание липидов в почвенных образцах определяли экстракцией азе-

отропной смесью спирт – бензол в отношении 1:2 в течение 12 ч, используя аппарат Сокслета. Затем большую часть растворителя отгоняли на роторном испарителе и высушивали до воздушно-сухого состояния.

Лигнин определяли мягким щелочным окислением оксидом меди в азотной среде [5]. Составляющие лигнин фенолы разделены на газожидкостном хроматографе после предварительной дериватизации и превращения их в триметилсилиловые эфиры. Индивидуальные продукты реакции идентифицированы путем сравнения времени удерживания (в минутах) и пиков с известными компонентами и количествами, используемыми в качестве внешних стандартов. Газохроматографический анализ фенолов лигнина с использованием высокоточной аналитической техники позволил анализировать вещества в следовых количествах. Благодаря такому подходу удалось изучить лигнин на высоком качественном и количественном уровне. Данный метод обладает высокой точностью измерений.

Общее количество углеводов определяли фенолсернокислым методом Дебуа. Участие углеводов в формировании гумуса почв можно сравнивать по количеству углерода углеводов. Для перевода абсолютного количества углеводов на содержание углерода углеводов используют коэффициент 0,4.

Результаты исследования и их обсуждение

Суровые условия Забайкалья, вызывая фитостресс у растений, приводят к их ответной реакции – формирование защитных систем и выживание за счет мобилизации, при которой происходят некоторые метаболические перестройки у растений: накопление криопротекторов – сахаров и других совместимых осмолитов; повышается содержание липидов, изменение состава мембранных липидов и др.

На каждой стадии онтогенеза – растения приспосабливаются к неблагоприятным условиям (низкая температура, засуха т.д.) в разной степени. Происходит изменение обмена веществ, которые определяются быстротой и глубиной его изменений без нарушения баланса между отдельными функциями, благодаря чему не нарушается единство организма и среды.

Липиды

Установлено, что черноземы характеризуются высоким содержанием липидов по сравнению с серыми лесными почвами. Выявлена особенность в их профильном распределении липидов: в черноземах – его содержание снижается с глубиной в пределах органогенного горизонта, а в серых лесных почвах происходит накопление углеводов в иллювиальном горизонте, для которого характерна более низкая биологическая активность микрофлоры. Известно, что накопление липидов в гумусовых горизонтах почв находится в обратной зависимости от степени гумификации. В целом, доля липидов в исследуемых почвах по сравнению с европейскими аналогами низка.

В почвах с высокой степенью гумификации ОВ количество липидов низко. Содержание липидов в верхних горизонтах составляет 3–8%, редко превышает 10% от $C_{общ}$, в иллювиальном горизонте, с низкими значениями гумуса, количество липидов может более 50% (в перерасчете на углерод). Доля липидов в исследуемых почвах низка, что вписывается в закономерность накопления липидов. Относительно низкое количество липидов можно объяснить их агрогенной деградацией.

В формировании липидов почв велика роль микроорганизмов: микробиомасса является продуцентом липидов, а также липиды гумуса используются ими как источник энергии. Высокая микробиологическая активность при значительном содержании общего органического углерода обусловливает относительно низкую долю липидной фракции. Например, в черноземах европейской части России (ЕЧР) (при $C_{общ}$, равном 4–6%) – 2,5 г на 1 кг почвы, а в серых лесных почвах (при $C_{общ}$, равном 3,5–4,5%) – 2,2 г/кг. Содержание липидов в иллювиальном горизонте устойчиво к деструкции микробами, и ее доля в фондах органического вещества (ОВ) высока по сравнению с гумусово-аккумулятивным горизонтом.

Углеводы

Содержание углеводов в почвах зависит от запасов гумуса, и для верхних горизонтов большинства типов почв доля углеводов в составе гумуса составляет от 6–10 до 20–30% (в пересчете на углерод). Больший процент углеводов входит в состав фульвокислот и негидролизуемого остатка (60–80% всех углеводов); примерно 15% углеводов находится в гуминовых кислотах. В других группах почвенного гумуса содержится ориентировочно 1–10% углеводов.

Результаты исследования показали, что в черноземах обнаружено высокое содержание углеводов. Распределение

по профилю почв имеет убывающий характер с 2,04 мг С/г до 0,96 мг С/г в слое 40–50 см.

В серых лесных почвах содержание углеводов в верхнем 0–20 см слое колеблется в интервале 0,68–0,84 мг С/г, что гораздо меньше, чем в черноземах. В серых лесных почвах количество углеводов, наоборот, возрастает вниз по профилю с 0,68 до 1,2 мг С/г в слое 20–30 см, что связано с агрогенными условиями землепользования. В верхнем слое при пахоте углеводы более подвержены разрушению как источник питания микроорганизмов.

К примеру, содержание углеводов в лесостепных почвах составляет 1–2 %, в степных – от 0,6 до 1,5 %, в сухостепных почвах – 0,5–0,9 %. Количество углерода углеводов в лесостепных почвах составляет 6,9–24,8 %, в степных 11,6–22,6, в сухостепных 19,5–23,1 % от органического углерода. В литературе встречаются более низкие показатели содержания углеводов в южных черноземах и в каштановых почвах – 8–10 %.

Содержание и распределение углеводов по профилю в почвах зависит от содержания гумуса и скорости разложения ОВ. Корреляционная зависимость между содержанием углеводов и $C_{орг}$ высокая r = 0,86–0,88. Общее количество углеводов снижается с глубиной, вниз по профилю почв увеличивается доля углерода углеводов в составе гумуса.

Углеводы в почве не могут накапливаться в значительных количествах вследствие утилизации микроорганизмами и растениями.

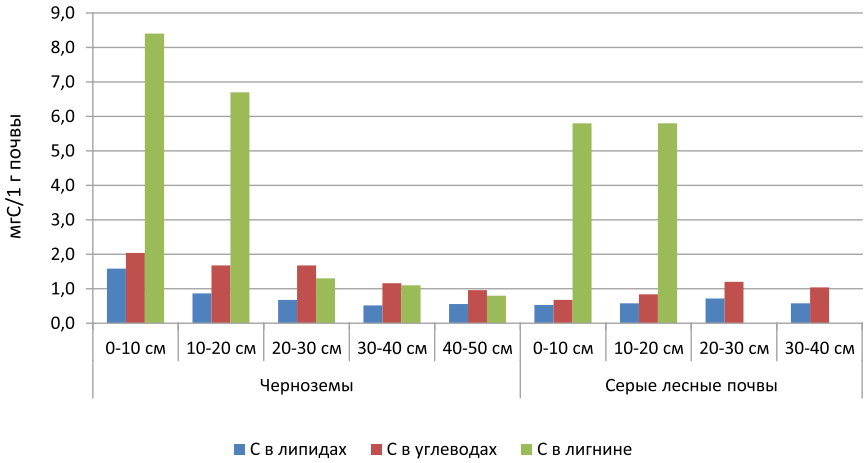
Лигнин

В дисперсно-карбонатных черноземах общее содержание лигнина в верхнем слое почвы составляет 27,4 мг/г $C_{орг}$, вниз по профилю его содержание убывает почти в 7 раз до 4,1 мг/г $C_{орг}$ в слое 20–30 см. В степи при резкой смене температуры и влажности в течение суток, так и по сезонам года в чернозем поступают обедненные азотом, зато обогащенные целюлозно-лигнинным комплексом [4] органические остатки растительности, которые обусловливают значительное содержание лигнина в верхних слоях почвы.

Для исследуемых черноземов характерна закономерность – убывание содержания фенолов в ряду: ванилиновые – сирингиловые – цинамиловые. По составу лигниновых фенолов выявлено высокое содержание ванилиновых фенолов во всех исследуемых образцах с убыванием его количества вниз по профилю, меньшее количество – цинамиловых.

Для серых лесных почв общее содержание лигнина равно 11,6 мг/г $C_{орг}$ в слое 0–20 см, характер содержания фенолов лигнина иной, чем в черноземах: ванилиновые – цинамиловые – сирингиловые. По составу лигниновых фенолов так же преобладают ванилиновые.

Доля углерода липидов, углеводов, лигнина в $C_{орг}$. представлена на рисунке. Следует отметить, что лигнин отличается более высоким содержанием углерода (50–60 %),что обусловлено его ароматической природой. Так, углеродав лигнине черноземов в верхнем 0–10 см слое содержится 8,4 мг/г $C_{орг}$, а в серых лесных почвах – в 1,5 раза меньше – 5,8 мг/г. Вниз по профилю его количество снижается. Содержание углерода в других НОВ значительно меньше, что объясняется тем, что лигнин является очень устойчивым к разложению соединением.



Содержание углерода в липидах, углеводах и лигнине черноземов и серых лесных почв Забайкалья

Заключение

Мерзлотная засуха способствовала выработке особых черт приспособления как в морфологии, так и химическом составе растений. Характерной особенностью является то, что содержание лигнина в исследуемых почвах Забайкалья выше, а содержание липидов и углеводов ниже, по сравнению с аналогичными почвами ЕЧР.

Выявлено, что большее количество общего содержания липидов, углеводов и лигнина обнаружено в черноземах дисперсно-карбонатных, по сравнению с серыми лесными почвами.

Следует отметить, что доля углерода в составе НОВ значительна. Это свидетельствует о том, что изучаемые индивидуальные химические соединения выводят углерод на различное время из круговорота, выполняя роль важного звена в его циклах и в формировании резервуара устойчивых органических соединений.

Работа выполнена в рамках темы госзадания № АААА-А 17-117011810038-7 «Эволюция, функционирование и эколого-биогеохимическая роль почв Байкальского региона в условиях аридизации и опустынивания, разработка методов управления их продукционными процессами».

Список литературы / References

1. Ratnayake R.R., Seneviratne G., Kulasooriya S.A. Effects of land use and management practices on quantitative changes of soil carbohydrates. Journal Natn. Sci. Foundation Sri Lanka. 2011. vol. 39. no. 4. P. 345–353. DOI: 10.4038/jnsfsr.v39i4.3883.

2. Feng. X., Xu Y., Jaffé R., Schlesinger W.H., Simpson M. Turnover rates of hydrolysable aliphatic lipids in Duke Forest soils determined by compound specific 13C isotopic analysis. Org Geochem. 2010. vol. 41. P.573–579. DOI: 10.1016/j.orggeochem.

3. Karmanov A.P., Kocheva L.S., Belyaev V.Yu. Study of the macromolecular structure of lignins in rye secale sp. and barley hordeum sp. Russian Journal of Bioorganic Chemistry. 2010. vol. 36. no. 7. P. 825–828. DOI: 10.1134/S1068162010070058.

4. Чимитдоржиева Г.Д. Органическое вещество холодных почв. Улан-Удэ: Изд. Бурятского научного центра, 2016. 386 с.

Chimitdorzhieva G.D. Organic matter in cold soils. Ulan-Ude: Izd. Buryatskogo nauchnogo tsentra, 2016. 386 p. (in Russian).

5. Ertel J.R., Hedges J.I. The lignin component of humic substances: distribution among soils and sedimentary humic, fulvic, and base-insoluble fractions. Geochim Cosmochim Acta. 1984. vol. 48. P. 2065–2074.

ОБЗОРЫ

УДК 553:662.74:663.18

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕЙ: НАПРАВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Сарыглар Ч.А., Чысыма Р.Б.

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, e-mail: chaiz_93@mail.ru, chysyma@mail.ru

В представленном обзоре литературы рассмотрены основные направления биотехнологической переработки углей. Отмечается, что научные разработки биологической переработки углей ведутся в трех основных направлениях: биодесульфурация, биоожижение (солюбилизация) и биогазификация. Показано, что из существующих направлений наиболее изученной и освоенной является биодесульфурация. Процесс протекает при умеренных температурных и атмосферных режимах, не требует больших капитальных, энергетических и эксплуатационных расходов. Рассмотрена способность микроорганизмов различных таксономических групп в лабораторных условиях удалять неорганические и органические соединения серы в углях до 100% за относительно короткий промежуток времени. Биоожижение протекает при активном участии микроорганизмов, в результате которого происходит превращение угля в суспендированное состояние и водорастворимые соединения. В результате биоожижения угля микроорганизмами от него получают угольную продукцию с новыми физико-химическими и энергетическими свойствами. Анаэробная бактериальная обработка угля в процессе биогазификации позволяет извлекать из угля метан, высококачественные органические и минеральные удобрения и различные химические продукты. Представленные в данном обзоре научные разработки свидетельствуют о том, что в течение последних лет биотехнологические методы переработки углей интенсивно исследуются во многих странах мира, и показывает перспективность этого метода для промышленного использования.

Ключевые слова: уголь, биотехнология, десульфурация, биосолюбилизация, биогазификация

BIOTECHNOLOGICAL METHOD OF COAL PROCESSING: DIRECTIONS AND PROSPECTS

Saryglar Ch.A., Chysyma R.B.

Tuva Institute for the Integrated Development of Natural Resources Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kyzyl, e-mail: chaiz_93@mail.ru; chysyma@mail.ru

In the presented literature review, the main areas of biotechnological processing of coal are considered. It is noted that the scientific development of the biological processing of coal is carried out in three main areas: biodesulphurization, bio-fluidization (solubilization) and biogasification. It is shown that of the existing directions, the most studied and mastered is biodesulfurization. The process proceeds at moderate temperature and atmospheric conditions, doesn't require large capital, energy and operating costs. The ability of microorganisms of various taxonomic groups under laboratory conditions to remove inorganic and organic sulfur compounds in coals up to 100% in a relatively short period of time is considered. Bio-fluidization carried with the active participation of microorganisms, resulting in the conversion of coal into a suspended state and water-soluble compounds. As a result, of coal bio-fluidization by microorganisms receiving coal products with new physicochemical and energy properties. Anaerobic bacterial treatment of coal in the biogasification process allows the extraction of methane from coal, high-quality organic and mineral fertilizers and various chemical products. The scientific developments presented in this review indicate that in recent years biotechnological methods of coal processing have been intensively studied in many countries of the world, and shows the prospects of this method for commersial use.

Keywords: coal, biotechnology, desulfurization, biosolubilization, biogasification

По негативному воздействию на окружающую среду угольная промышленность занимает одно из ведущих мест среди отраслей топливно-энергетического комплекса, что обусловлено большим объемом потребления ископаемых углей [1]. В результате производственной деятельности ТЭК ежегодные выбросы в атмосферу от сжигания угля составляют в порядке 90 млн т оксидов серы и 30 млн т оксидов азота. Серьезной проблемой является относительно высокая доля CO_2, образующегося при сжигании угля, по сравнению с другими видами топлива [2].

В этой связи улучшение качества угля, его переработка с использованием экологически чистых и эффективных технологий является весьма актуальным. Перспективным направлением в повышении энергетических и экологических характеристик ископаемых углей и углеотходов является биотехнологический метод его переработки [3].

Преимущество биотехнологических методов переработки углей заключается в том, что процессы протекают при умеренных температурах и атмосферном давлении, применении минимального набора химических реагентов, недорогих и про-

стых установок, низкого потребления энергии и отсутствия отрицательного влияния на окружающую среду [4–5].

Цель статьи – представление краткого обзора по основным направлениям биотехнологической переработки углей.

Научные разработки биотехнологической переработки углей ведутся в трех основных направлениях: биодесульфуризация, биоожижение и биогазификация.

Биодесульфуризация. Сжигание угля связано с выбросом в атмосферу оксидов серы, образованием кислотных дождей и золы, что создает загрязнение окружающей среды и оказывает вредное воздействие на человека [6].

Кроме того, повышенное содержание серы в угле снижает его тепловые характеристики и, соответственно, стоимость. Поскольку при использовании значительно увеличиваются расходы топлива, а при коксовании – ухудшается качество кокса и увеличивается потребность в нем при выплавке чугуна [7].

Было предложено несколько методов снижения содержания серы в углях до и после сжигания, среди которых физические, химические и биологические. Физические и химические методы обессеривания углей требуют больших капитальных и эксплуатационных расходов, выполняются в более жестких условиях, связанных с большим количеством химических реагентов, высокой температурой, потреблением энергии и выделением значительного количества углекислого газа [8–9].

Одним из перспективных биотехнологических направлений в удалении примесей органической и неорганической серы из угля является биодесульфуризация.

Сера в угле встречается в двух формах: неорганической и органической серы. Значительная часть серы в угле представлена в виде неорганической серы. Наиболее важным компонентом неорганической серы в угле является пирит [10]. Несмотря на то, что элементарная и сульфатная сера также являются компонентами неорганической серы в угле, из-за невысокого содержания они, как правило, не учитываются при десульфуризации. В этой связи десульфурация в основном направлена на удаление пиритной и органической серы [11].

Механизм удаления серы, так же как извлечение металлов из сульфитных руд, можно представить общей реакцией:

$$2FeS_2 + 7{,}5O_2 + H_2O \text{ стрелка } 2Fe^{+3} + \\ + 4S0_4^{2-} + 2H^+.$$

Процесс сопровождается образованием кислоты, что обеспечивает поддержание низких значений pH, благоприятных для жизнедеятельности и окислительной активности ацидофильно хемолитотрофных бактерий [7]. В целом процесс десульфурации микроорганизмов состоит из окисления серы, расщепления углерод-углеродной связи или расщепления углерод-серной связи [12].

Для микробной десульфурации пиритной серы в углях часто рассматриваются, мезофильные, умеренно термофильные и термофильные ацидохемолитотрофные железо- и сероокисляющие бактерии (*Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Sulfobacillus thermosulfidooxidans Acidithiobacillus caldus*. Благодаря применению бактерий, почти вся неорганическая сера угля может быть удалена за относительно короткий промежуток времени [13].

Органическая сера, присутствующая в углях, интегрируется в структурную матрицу угля в виде тиоловых, сульфидных и тиофеновых соединений. Поэтому его удаление включает расщепление устойчивой ковалентной связи C-S. Роль микроорганизмов в окислении сложных органических соединений, в том числе дибензотиофена (DBT), активно изучается и рассматривается многими авторами [14–16].

Полное расщепление сложных органических соединений серы в углях, расщеплением C-S связи, осуществляют ограниченное число гетеротрофных бактерий и грибов: *Pseudomonas* sp, *Sulfolobus acidocaldarius*, *Rhodococcus erythropolis Fusarium oxysporum* FE, *Exophiala spinifera* [17–20].

В течение последних лет микробное удаление серы интенсивно исследовалось во многих странах мира. По последним сообщениям в лабораторных условиях удается снизить содержание серы в угле путем микробиологического выщелачивания за 5 суток почти на 100%. Микробиологический способ десульфуризации углей рассматривается как весьма перспективный для промышленного использования [21].

Биоожижение (солюбилизация) представляет неферментативное растворение угля, позволяющее переводить уголь в суспендированное состояние и водорастворимые продукты, с использованием микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности. Конечной целью биоожижения следует считать получение угольной продукции с новыми физико-химическими и энергетическими свойствами [22].

До настоящего времени точный механизм биосолюбилизации, из-за сложной структуры угля, все еще остается полностью не изученным [23]. По мнению M.J. Ghani, M.I. Rajoka, K. Akhtar [24], механизм разложения и растворения угля включает взаимодействие между углем, различных окисляющих и неокисляющих ферментов, хелатных соединений, щелочей и поверхностно-активных веществ.

Процесс биосолюбилизации более эффективен в отношении низкосортных углей, в связи их низкой топливной ценностью, они относительно легко подвергаются биологической обработке. В настоящее время были идентифицированы и описаны различные микроорганизмы, способные превращать жидкие соединения, полученные из угля, в полезные продукты. Микробные консорциумы, способные сжижать уголь, были найдены на угольных шахтах и отвалах, отстойниках и фильтрах нефтяных скважин, отложениях пресной и морской воды, в кишечнике жвачных животных и насекомых [25].

Об эффективности биосолюбилизации польского лигнита с участием бактерий *Gordonia alkanivorans* S7 и *Bacillus mycoides* NS1020 сообщается в работе I. Romanowska, B. Strzelecki, S. Bielecki [26], где, предварительная обработка угля азотной кислотой увеличивала эффективность процесса примерно на 89%.

В исследованиях О.И. Кляйн, Н.А. Куликовой, Е.В. Степановой и др. [27], выявлена способность базидиомицетов *Trametes hirsuta* и *T. maxima* в условиях жидкофазного культивирования солюбилизировать бурый уголь. Определено, что базидиальные грибы *T. hirsuta* и *T. maxima* солюбилизируют бурый уголь, за счет лигнолитического ферментного комплекса (Mn – пероксидаза и лигнин-пероксидаза).

X.X. Tao, H. Chen, K.Y. Shi отмечают [28] способность грибов TZ1, выделенных из почвы угольной шахты Фушуньси (Китай) при биосолюбилизации лигнита. При этом уровень биоконверсии лигнита составил около 23,3%. Морфо-биологическим и молекулярно-генетическим анализом установлено, 100% сходство выделенного гриба, под условным названием TZ1, с *Hypocrea lixii*.

Эффективность бактерии *Bacillus* sp. Y7, при солюбилизации необработанного китайского лигнита отмечена в работе F. Jiang, Z. Li, Z. Lv и др. [29]. По результатам исследований установлено, что лигнин-растворяющая способность *Bacillus* sp. Y7 зависит от уровня кислотности среды (pH). Анализ, внеклеточных образований *Bacillus* sp. Y7, позволил говорить об основной роли термостабильных внеклеточных щелочных структур, продуцируемых данной бактерией в солюбилизации лигнита. В результате исследований за 12 дней растворилось более 36,77% лигнита. Эти примеры свидетельствуют о том, что не только грибы, но и бактерии эффективно растворяют бурый уголь.

В исследовании M.E. Silva-Stenico, C.J. Vengadajellum, H.A. Janjua и др. [30], сообщается о способности нового изолята грибов *Trichoderma* atroviride разлагать около 82% угля в течение 21 дней и о возможном участии некоторых внутриклеточных ферментов в солюбилизации угля.

Анализ исследований по биоожижению угля указывает на способность различных видов бактерий и грибов изменять структуру угля, при этом более высокая степень биоожижения угля характерна для грибковых микроорганизмов.

Биогазификация. Анаэробная бактериальная обработка угля в процессе биогазификации приводит не только к получению метана, также образованию химических продуктов, высококачественных органических и минеральных удобрений. В последнее время биодеградация угля микробами в направлении образования метана стала актуальной, поскольку этот процесс не только улучшает выход метана из угольных пластов, также снижает экологическую опасность добычи угля [31].

Процесс анаэробной биоконверсии угля с получением метана проходит через три последовательных стадии: гидролиз, ацетоногенез и метанообразование. За каждую стадию отвечает строго определенная группа микроорганизмов (гидролитические и ферментативные бактерии, ацетогенные бактерии и метаногенные археи) [32].

В обобщающем обзоре И.П. Иванова [22], наряду с биоожижеиим и биодесульфурацией, рассмотрены биотехнологические способы извлечения метана из угольных пластов. В работе A. Gupta, K. Birendra [33] выявлена возможность получения метана из угля, при их обработке смешанными анаэробными микроорганизмами, выделенными из различных источников, а также эффективность микроорганизмов, присутствующих в почве рисовых полей, в получении метана из угля.

В процессе экспериментальных исследований биоконверсии антрацита и бу-

рого угля М.Д. Молевым, И.А. Заниной, Н.И. Стуженко [34] был обоснован выбор анаэробных метаногенных ассоциаций микроорганизмов, которые эффективно осуществляют преобразование угольных отходов в биогаз. В результате опытных работ были выбраны следующие культуры: *Clostridium themocellum* + *Methanobacterium thermoformiclum*; *Ps. aeruginosa* + *B. megaterium* + *M. Omelianskii* + *Ms. Methanica*, а также анаэробный консорциум. При биоконверсии антрацита указанными культурами и анаэробным консорциумом, максимальная концентрация метана достигала 25 %, а предварительная обработка бурого угля культурой гриба *Asp. niger* перед метанизацией этими же культурами, дало возможность поднять выход чистого метана до 65 %. При этом производительность по метану для бурого угля составила 0,337 м^3/т сут; для антрацита – 0,586 м^3/т сут. Степень биоконверсии органической составляющей угольных отходов изменяется от 3,27 до 10,22 % (при утилизации антрацита) и от 4,89 до 12,2 % (в случае бурого угля).

В работе A. Opara, D.J. Adams, M.L. Free и др. [35] представлены результаты получения метана из отходов битуминозного угля, лигнита и битуминозных угольных материалов. После 30-дневного воздействия бактерий, при температуре 23 °C метан, полученный из угольных отходов, по своим показателям был аналогичен метану, полученному из угля. Результаты этих исследований показывают возможности использования угольных отходов в качестве органического субстрата для получения метана.

Авторами С.И. Шумковым, Ю.Н. Малышевым, С.Е. Тереховой и др. [36] предложена новая технология бесшахтной разработки месторождения энергетических углей, с использованием анаэробных бактерий. Преимуществом предложенной технологии является отсутствие в ней горных работ по добыче угля. Вместо этого, после откачки воды и газа из неразгруженного пласта предусматривается доставка по той же сетке скважин анаэробной биокультуры, а затем извлечение продуцированного микроорганизмами биогаза и водоугольной суспензии для дальнейшей переработки в тепловую и электрическую энергии.

Биогазификация угля в термофильном биореакторе с разделением стадий солюбилизации и метаногенеза в аэробно-анаэробных условиях позволяет повысить выход биогаза по сравнению с мезофильным процессом. При этом наблюдается полная потеря первичного распределения частиц исходного угля. Элементный анализ угля, проведенный после биоконверсии, в термофильном режиме, показал уменьшение содержания углерода, водорода и пиритной серы [37].

Заключение

В течение последних лет биотехнологические методы переработки углей интенсивно исследовались во многих странах мира. Преимущество биотехнологических методов переработки углей заключается, прежде всего, в их ресурсо и энергоэффективности и отсутствии отрицательного влияния на окружающую среду. В настоящее время научные разработки биологической переработки углей ведутся в трех основных направлениях: биодесульфурация, биоожижение (солюбилизация) и биогазификация. Из существующих направлений наиболее изученной и освоенной является биодесульфурация. Способностью удалять неорганические и органические соединения серы в углях обладают микроорганизмы различных таксономических групп. В лабораторных условиях, с помощью микроорганизмов удается обессеривать до 100 % угольной серы за относительно короткий промежуток времени. Биоожижение представляет собой процесс перевода углей в суспендированное состояние и водорастворимые соединения, протекающее с участием микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности, в результате, которого получается угольная продукция с новыми физико-химическими свойствами. Анаэробная бактериальная обработка угля в процессе биогазификации позволяет извлекать из угля метан, высококачественные органические и минеральные удобрения и различные химические продукты. Анализ исследований по биотехнологическим методам переработки углей позволяет говорить о перспективности этих методов для промышленного использования. При этом главным звеном биотехнологического процесса выступает сообщество микроорганизмов, способное осуществлять определенную модификацию исходного углеводородного сырья (бурые и каменные угли) и образовывать ценные продукты.

Список литературы / References

1. Ершова О.В. К проблеме улучшения экологической обстановки в районах углепользования // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 12–1. С. 19–22.

Ershova O.V. On the problem of improving the environmental situation in the areas of coal use // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2016. № 12–1. P. 19–22 (in Russian).

2. Пашкевич Н.В., Мартемьянова А.Н. Оценка экономической эффективности развития угольной энергетики с учетом экономического фактора // Записки Горного института. 2011. Т. 191. С. 152–157.

Pashkevich N.V., Martemyanova A.N. Evaluation of the economic efficiency of the development of coal energy, taking into account the economic factor // Zapiski Gornogo instituta. 2011. V. 191. P. 152–157 (in Russian).

3. Иванов И.П., Иванова Д.И., Баранова М.П., Михайленко С.А. Перспективы биоугольных технологий в энергетике // Сборник докладов Первого международного научно-технического конгресса «Энергетика в глобальном мире» 16–18 июня. Красноярск, 2010. С. 391–392.

Ivanov I.P., Ivanova D.I., Baranova M.P., Mikhailenko S.A. Prospects for bio-coal technologies in the energy sector // Sbornik dokladov Pervogo mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo kongressa «Energetika v global'nom mire» 16–18 iyunya. Krasnoyarsk, 2010. P. 391–392 (in Russian).

4. Ye J., Zhang P., Wang S., Nabi M., Zhang Q., Zhang H. Biodesulfurization of high sulfur fat coal with indigenous and exotic microorganisms. Journal of cleaner production. 2018. vol. 197. P. 562–570. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.06.223.

5. Иванов И.П., Теремова М.И., Еремина А.О., Головина В.В., Фетисова О.Ю., Скворцова Г.П., Чесноков Н.В., Кузнецов Б.Н. Аэробная переработка бурого угля штаммом Acinetobacter calcoaceticus // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2014. Т. 7. № 2. С. 209–220.

Ivanov I.P., Teremova M.I., Eremina A.O., Golovina V.V., Fetisova O.Yu., Skvortsova G.P., Chesnokov N.V., Kuznetsov B.N. Aerobic processing of brown coal by the strain Acinetobacter calcoaceticus // Journal of the Siberian Federal University. Series: Chemistry. 2014. Vol. 7. № 2. P. 209–220 (in Russian).

6. Nuhu A.A. Bio-catalytic desulfurization of fossil fuels: a mini review. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. 2013. vol.12. № 1. P. 9–23. DOI: 10.1007/s11157-012-9267-x.

7. Блайда И.А., Васильева Т.В. Бактериальная десульфурация углей // Микробиология и биотехнология. 2017. № 3. С. 6–23. DOI: 10.18524/2307-4663.2017.3(39).110877.

Blyda I.A., Vasilieva T.V. Bacterial desulfurization of coal // Microbiology and Biotechnology. 2017. № 3. P. 6–23 (in Russian).

8. Zhou Y., Hu Y., Gong X., Wang Z., Zhang S., Wang M. Intensified hydrogen production and desulfurization at elevated temperature and pressure during coal electrolysis. Electrochimica Acta. 2018. vol. 284. P. 560–568. DOI: 10.1016/j.electacta.2018.07.204.

9. Celik P.A., Aksoy D.O., Koca S., Koca H., Cabuk A. The approach of biodesulfurization for clean coal technologies: a review. International journal of environmental science and technology. 2019. vol. 16. № 4. P. 2115–2132. DOI: 10.1007/s13762-019-02232-7.

10. Duan P., Wang W., Liu X., Qian F., Sang S., Xu S. Distribution of As, Hg and other trace elements in different size and density fractions of the Reshuihe high-sulfur coal, Yunnan Province, China. International Journal of Coal Geology. 2017. vol. 173. P. 129–141. DOI: 10.1016./j.coal.2017.02.013.

11. Demir U. Characterization and Desulfurization Possibilities of High Sulfur Gediz-Turkey Coal. Combustion. 2017. vol. 1. P. 31–38. DOI:10.17265/2162-5298/2017.01.004.

12. Liu T., Hou J., Peng Y. Effect of a newly isolated native bacteria, Pseudomonas sp. NP22 on desulfurization of the low-rank lignite. International Journal of Mineral Processing. 2017. Vol. 162. P. 6–11. DOI:10.1016/j.minpro.2017.02.014.

13. Nazari F., Kefayati M.E., Raheb J. The study of biological technologies for the removal of sulfur compounds. Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran. 2017. Vol. 28. № 3. P. 205–219.

14. Karavaiko G.I., Lobyreva L.B. An overview of the bacteria and archaea involved in removal of inorganic and organic sulfur compounds from coal. Fuel processing technology. 1994. vol. 40. № 2–3. P. 167–182.

15. Singh A.L., Singh A.L. Desulfurization and demineralization of coal with bacteria: An ecofriendly concept for clean coal energy. Recent trends in Microbial Biotechnology, Lambert Academic Publising Edited by Vivek Bajpai. 2010. P. 215–231.

16. Jatoi A.S., Aziz S., Soomrob S.A. Biological Removal of Sulfur from Coal through Use of Microorganism. A Review. 4th International Conference on Energy, Environment and Sustainable Development. 2016. [Electronic resource]. URL: http://eesd.muet.edu. pk/proceedings (EESD_2016 _320) (date of access: 18.11.2019).

17. Wang J., Butler R.R III., Wu F., Pomberet J-F., Killbane J.J II., Stark BC. Enhancement of microbial biodesulfurization via genetic engineering and adaptive evolution. PloS one. 2017. vol. 12. № 1. P. e0168833. DOI: 10.1371/journal.pone.0168833.

18. Martinez I., Santos V.E., Alcon A., Garcia-Ochoa F. Enhancement of the biodesulfurization capacity of Pseudomonas putida CECT5279 by co-substrate addition. Process Biochemistry. 2015. vol. 50. № 1. P. 119–124. DOI:10.1016./j.procbio.2014.11.001.

19. Etemadifar Z., Etemadzadeh S.S., Emtiazi G.A novel approach for bioleaching of sulfur, iron, and silica impurities from coal by growing and resting cells of Rhodococcus spp. Geomicrobiology journal. 2019. vol. 36. № 2. P. 123–129. DOI: 10.1080/01490451.2018.1514441.

20. Etemadzadeh S.S., Emtiazi G., Etemadifar Z. Heterotrophic bioleaching of sulfur, iron, and silicon impurities from coal by Fusarium oxysporum FE and Exophiala spinifera FM with growing and resting cells. Current microbiology. 2016. vol. 72. № 6. P. 707–715. DOI: 10.1007/s00284-016-1008-x.

21. Биогеотехнология обессеривания углей. [Электронный ресурс]. URL: http://biolobo.ru/promishlennaya-biotehnologiya.html?page=13 (дата обращения: 18.11.2019).

Biogeotechnology for desulfurization of coal [Electronic resource]. URL: http://biolobo.ru/promishlennaya-biotehnologiya.html?page=13 (date of access: 18.11.2019) (in Russian).

22. Иванов И.П. Основные направления биотехнологической обработки углей (обзор) // Химия твердого топлива. 2007. № 1. С. 5–13.

Ivanov I.P. Main trends in the biotechnological processing of coals: A review. Chemistry of solid fuels. 2007. V. 41. № 1. P. 3–10. DOI: 10.3103/S0361521907010028.

23. Kulikova N.A., Stepanova E.V., Koroleva O.V. Mitigating activity of humic substances: direct influence on biota. Use of humic substances to remediate polluted environments: from theory to practice. Springer. Dordrecht. 2005. vol 52. P. 285–309. DOI: 10.1007/1-4020-3252-8_14.

24. Ghani M.J., Rajoka M.I., Akhtar K. Investigations in fungal solubilization of coal: Mechanisms and significance. Biotechnology and bioprocess engineering. 2015. vol. 20. № 4. P. 634–642. DOI: 10.1007/s12257-015-0162-5.

25. Gupta A., Birendra K. Biogasification of coal using different sources of microorganisms. Fuel. 2000. vol. 79. № 1. P. 103–105. DOI: 10.1016/S0016-2361(99)00097-6.

26. Romanowska I., Strzelecki B., Bielecki S. Biosolubilization of Polish brown coal by Gordonia alkanivorans S7 and Bacillus mycoides NS1020. Fuel processing technology. 2015. vol. 131. P. 430–436. DOI: 10.1016/j.fuproc.2014.12.019.

27. Кляйн О.И., Куликова Н.А., Степанова Е.В., Филиппова О.И., Федорова Т.В., Малошенок Л.Г., Филимонов И.С., Королёва О.В. Получение и характеристика биологически активных продуктов солюбилизации бурого угля базидиальными грибами белой гнили // Биотехнология. 2013. Т. 29. № 4. С. 65–73.

Klein O.I., Kulikova N.A., Stepanova E.V., Fedorova T.V., Maloshenok L.G., Koroleva O.V., Filippova O.I., Filimonov I.S. Preparation and characterization of bioactive products obtained via the solubilization of brown coal by white rot fungi. Applied Biochemistry and Microbiology. 2014. V. 50. № 7. P. 730–736. DOI: 10.1134/S0003683814070035.

28. Tao X.X., Chen H., Shi K.Y., Lv Z.P. Identification and biological characteristics of a newly isolated fungus Hypocrea lixii and its role in lignite bioconversion. African Journal of Microbiology Research. 2010. vol. 4. № 17. P. 1842–1847.

29. Jiang F., Li Z., Lv Z., Gao T., Yang J., Qin Z., Yuan H. The biosolubilization of lignite by Bacillus sp. Y7 and characterization of the soluble products. Fuel. 2013. vol. 103. P. 639–645. DOI: 10.1016/j.fuel.2012.08.030.

30. Silva-Stenico M.E., Vengadajellum C.J., Janjua H.A., Harrison S.T., Burton S.G., Cowan D.A. Degradation of low rank coal by Trichoderma atroviride ES11. Journal of industrial microbiology & biotechnology. 2007. vol. 34. № 9. P. 633. DOI: 10.1007/s10295-007-0242-4.

31. Bao Y., Huang H., He D., Ju Y., Qi Y. Microbial enhancing coal-bed methane generation potential, constraints and mechanism–a mini-review. Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2016. vol. 35. P. 68–78. DOI: 10.1016/j.jngse.2016.08.035.

32. Park S.Y., Yanna L. Biogenic methane production from coal: a review on recent research and development on microbially enhanced coalbed methane (MECBM). Fuel. 2016. vol. 166. P. 258–267. DOI: 10.1016/j.fuel.2015.10.121.

33. Gupta A., Birendra K. Biogasification of coal using different sources of microorganisms. Fuel. 2000. vol. 79. № 1. P. 103–105. DOI: 10.1016/S0016-2361(99)00097-6.

34. Молев М.Д., Занина И.А., Стуженко Н.И. Современные подходы к утилизации техногенных отходов с использованием микробной биоконверсии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 3. С. 155–160.

Molev M.D., Zanina I.A., Stuzhenko N.I. Current approaches to utilization of industrial wastes using microbial bioconversion // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). 2017. № 3. P. 155–160 (in Russian).

35. Opara A., Adams D.J., Free M. L., McLennan J., Hamilton J. Microbial production of methane and carbon dioxide from lignite, bituminous coal, and coal waste materials. International Journal of Coal Geology. 2012. vol. 96. P. 1–8. DOI: 10.1016/j.coal.2012.02.010.

36. Шумков С.И., Малышев Ю.Н., Терехова С.Е., Лауринавичюс К.С. Способ переработки угля // Патент 2139426 E21B 43/295.C12N 1/20. опубл. БИ. 1999. № 28.

Shumkov S.I., Malyshev Yu.N., Terekhova S.E., Laurinavichyus K.S. A method of processing coal // Patent 2139426 EBB 43 / 295.C12N 1/20. publ. BI. 1999. № 28. (in Russian).

37. Shumkov S.I., Laurinavichius K.S., Terekhova S.E. Coal biogasification in combained thermophilic aerobic-anaerobic bioreactor. «Prospects for Coal Science in 21th Centure». 1999. September. Shanxi Science. Technology Press. China, 1999. P. 1215–1218.