УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

№ 10 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 – 29.10.2019
Дата выхода номера – 29.11.2019

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. 21,25
Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/10-2019
Подписной индекс П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)

СТАТЬИ

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ И СТРАТЕГИЯ АДАПТАЦИИ К НИМ СЕЛЕКЦИИ И АГРОТЕХНОЛОГИЙ

Левицкая Н.Г., Демакина И.И. 7

УВЕЛИЧЕНИЕ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ КАРТОФЕЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БОРОСОДЕРЖАЩЕГО ХЕЛАТНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Петрова А.А., Смирнова Т.И., Павлов М.Н., Дроздов И.А. 13

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ОБУСТРОЙСТВА АГРОЛЕСОЛАНДШАФТОВ

Силова В.А. 18

ПОКАЗАТЕЛИ ФАКТИЧЕСКОЙ ГОРИМОСТИ ЛЕНТОЧНЫХ БОРОВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Шубин Д.А., Залесова Е.С., Толстиков А.Ю. 23

Науки о Земле (25.00.00)

СТАТЬИ

УТОЧНЕНИЕ ПАЛЕОТЕКТОНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ В МЕЗОЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКОЕ ВРЕМЯ

Воробьев С.В., Горбунов П.А., Максименко О.В., Бембель С.Р. 29

ДИНАМИКА ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННО ИЗМЕНЕННЫХ ПОЧВ НАЗАРОВСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Воробьева И.Б. 39

ОРГАНИЧЕСКИЕ ПРИМЕСИ В ПОДЗЕМНЫХ И ПИТЬЕВЫХ ВОДАХ ГОРОДА СУРГУТА ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

Гузняева М.Ю., Туров Ю.П. 45

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУР ЦИРКУЛЯЦИИ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ПРОВИНЦИИ ЦЗЯНСИ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОТЕРМОМЕТРОВ

Зиппа Е.В., Гусева Н.В., Сунь Чж., Чень Г. 52

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ГЕОСИСТЕМ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕГИОНОВ (НА ПРИМЕРЕ ЮГА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ)

Кузнецова Т.И. 58

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДИНАМИКИ ШИРИНЫ КАЖДОГО УЧЕТНОГО ЛИСТА БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ ОКОЛО МАКСИМУМА РОСТА В ПЕРИОД ВЕГЕТАЦИИ

Мазуркин П.М., Кудряшова А.И. 65

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ УСТАНОВКИ ДАТЧИКА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Махмудов Х.Ф. 73

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОГРАФИИ СЕЛЬСКОГО РАССЕЛЕНИЯ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ РАЙОНА ПРЕДКАМЬЯ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Мухаметов А.Р. 79

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ КОНВЕКЦИИ В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В КУЧЕВО-ДОЖДЕВОМ ОБЛАКЕ

Неижмак А.Н., Расторгуев И.П. 84

ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ ЯКУТИИ
ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА

Николаев А.А. 89

ДАТИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ В ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ИМИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ
В ВЕРХОВЬЯХ РЕКИ АКТРУ (СЕВЕРО-ЧУЙСКИЙ ХРЕБЕТ, ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

Николаева С.А., Савчук Д.А. 95

СТЕПЕНЬ АНТРОПОГЕННОЙ ИЗМЕНЕННОСТИ ТИПОВ МЕСТНОСТЕЙ
ЭЛЬГИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ

Пинигин Д.Д., Ноговицын Д.Д., Николаева Н.А., Шеина З.М., Сергеева Л.П. 101

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ УРАНА В ПОЧВЕ, ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ
И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РАЙОНА БЫВШЕГО РАДИЕВОГО ПРОМЫСЛА

Рачкова Н.Г., Шапошникова Л.М. 107

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОВОКУПНОСТИ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ УСЛОВИЯ
ДЛЯ СОЗДАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОГО
КЛАСТЕРА С ПОЗИЦИИ РЕСУРСНОГО ТУРИСТСКОГО ПОТЕНЦИАЛА:
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ И ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНЫЙ АСПЕКТЫ

Сухов Р.И. 113

ВОЗМОЖНОСТИ И ПРЕДПОСЫЛКИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ КАРЬЕРОВ
НА ЧЕРНОМОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Туманова А.Л., Гудкова Н.К., Горбунова Т.Л., Пачулия Е.Р. 120

ПОЛУЧЕНИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФОРМ
НА ОСНОВЕ БОРНОЙ И АМИНОУКСУСНОЙ КИСЛОТ

Тютрина С.В., Мясникова Н.В., Григорьева О.Ю., Осина М.А. 126

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РАСЩЕПЛЕНИЯ И СПЕКТРАЛЬНОГО МЕТОДА ГАЛЕРКИНА
К ЗАДАЧАМ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИИ

Увижева Ф.Х., Калажоков Х.Х. 132

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
МЕТОДА AVO НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СЕЙСМИЧЕСКИХ АМПЛИТУД
И АМПЛИТУД СПЕКТРА СИГНАЛА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЧАСТОТЫ

Феоктистова О.В., Захарова Г.А. 141

СОЗДАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ РАНЖИРОВАНИЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЦИКЛИЧЕСКОГО ЗАВОДНЕНИЯ

Чикиров Руст.Р., Мамчистова Е.И. 147

НЕОТЕКТОНИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ И БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ МИНЕРАГЕНИЯ
ПРИМОРЬЯ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Шевырев С.Л. 152

ОБЗОРЫ

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА СОСТАВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА
В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ

Котова Е.И. 158

НАСЛЕДИЕ ПЛЕЙСТОЦЕНОВОЙ КРИОЛИТОЗОНЫ В ЛАНДШАФТАХ
ЗАВОЛЖСКО-УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Рябуха А.Г. 164

CONTENTS

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

ARTICLES

MODERN CLIMATE CHARACTERS OF THE SARATOV REGION AND ADAPTATION STRATEGY OF BREEDING AND AGROTECHNOLOGIES TO THEM

Levitskaya N.G., Demakina I.I. *7*

THE INCREASE IN NUTRITIVE VALUE OF POTATO WHEN USING THE BORON CHELATE

Petrova A.A., Smirnova T.I., Pavlov M.N., Drozdov I.A. *13*

GEOINFORMATION ANALYSIS OF AGRO AND FOREST LANDSCAPES

Silova V.A. *18*

ACTUAL BURNING INDEX (FIRE COAD INDEX) OF STRIPE PINE FOREST IN ALTAY REGION

Shubin D.A., Zalesova E.S., Tolstikov A.Yu. *23*

Earth sciences (25.00.00)

ARTICLES

PALOTECTONIC DEVELOPMENT SPECIFICATION OF THE NORTHERN PART OF THE WEST-SIBERIAN PLATE IN THE MESOZOIC-CENOZOIC TIME

Vorobev S.V., Gorbunov P.A., Maksimenko O.V., Bembel S.R. *29*

DYNAMICS OF HYDROTHERMAL CONDITIONS AND ORIGINALITY OF CHANGES IN NATURAL AND ANTHROPOGENICALLY CHANGED SOILS NAZAROVSKAYA FOREST-STEPPE ZONE OF MIDDLE SIBERIA

Vorobeva I.B. *39*

ORGANIC IMPURITIES IN UNDERGROUND AND DRINKING WATERS OF SURGUT CITY OF KHANTY-MANSIYSK AUTONOMOUS OKRUG

Guznyaeva M.Yu., Turov Yu.P. *45*

ESTIMATION OF CIRCULATION TEMPERATURES OF THETMAL WATERS IN JIANGXI PROVINCE USING DIFFERENT GEOTHERMOMERERS

Zippa E.V., Guseva N.V., Sun Zh., Chen G. *52*

GEOSYSTEM MAPPING FOR INFORMATION SUPPORT OF TERRITORIAL PLANNING OF REGIONS (CASE STUDY THE SOUTH OF EAST SIBERIA)

Kuznetsova T.I. *58*

REGULARITIES OF THE DYNAMICS OF THE AVERAGE WIDTH OF THE LEAVES OF SILVER BIRCH NEAR THE MAXIMUM GROWTH IN THE VEGETATION PERIOD

Mazurkin P.M., Kudryashova A.I. *65*

DEVELOPMENT OF DEVICE FOR INSTALLATION OF ACOUSTIC EMISSION SENSOR IN MINE WORKINGS

Makhmudov Kh.F. *73*

SOME FEATURES OF GEOGRAPHY OF RURAL DISTRIBUTION AND SETTLEMENTS OF THE PRE-KAMA REGION OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Mukhametov A.R. *79*

ASSESSING THE ADEQUACY OF MODELS OF CONVECTION IN THE PROBLEM OF DETERMINING THE TEMPERATURE IN A CUMULONIMBUS CLOUD

Neizhmak A.N., Rastorguev I.P. *84*

SPECIALLY PROTECTED NATURAL TERRITORIES OF YAKUTIA
FOR ORGANIZATION ECOLOGICAL TOURISM

Nikolaev A.A. 89

DATING OF FIRES IN TRANSFORMED FOREST ECOSYSTEMS IN THE AKTRU HEADWATER
(THE SEVERO-CHUISKY RANGE, THE ALTAI MOUNTAINS)

Nikolaeva S.A., Savchuk D.A. 95

DEGREE OF ANTHROPOGENIC CHANGE OF TERRAIN TYPES
OF THE ELGINSKY COAL DEPOSIT

Pinigin D.D., Nogovitsyn D.D., Nikolaeva N.A., Sheina Z.M., Sergeeva L.P. 101

URANIUM SPECIATION IN SOILS, SURFACE WATERS AND BOTTOMS
FROM FORMER RADIUM PLANT AREA

Rachkova N.G., Shaposhnikova L.M. 107

DETERMINATION OF THE COMPLEX OF FACTORS DEFINING THE CONDITIONS
FOR CREATION AND FUNCTIONING OF THE TOURIST AND RECREATIONAL CLUSTER
FROM THE POSITION OF THE RESOURCE TOURIST POTENTIAL:
GEOGRAPHICAL AND HISTORICAL AND CULTURAL ASPECTS

Sukhov R.I. 113

OPPORTUNITIES AND PREREQUISITES FOR QUARRIES WASTE UTILIZATION
ON THE BLACK SEA COAST USING BIOLOGICAL METHODS

Tumanova A.L., Gudkova N.K., Gorbunova T.L., Pachuliya E.R. 120

PREPARATION AND PHYSICO-CHEMICAL STUDY OF CRYSTALLINE
FORMS BASED ON BORIC AND AMINOACETIC ACIDS

Tyutrina S.V., Myasnikova N.V., Grigoreva O.Yu., Osina M.A. 126

APPLICATION OF THE SPLITTING METHOD AND SPECTRAL GALERKIN METHOD
TO PROBLEMS OF REGIONAL ECOLOGY

Uvizheva F.Kh., Kalazhokov Kh.Kh. 132

NEW TECHNOLOGICAL SOLUTIONS TO IMPROVE THE EFFICIENCY
OF AVO TECHNOLOGY BASED ON INTEGRATED ANALYSIS OF SEISMIC AMPLITUDES
AND AMPLITUDES OF THE SPECTRUM DEPENDING ON THE FREQUENCY

Feoktistova O.V., Zakharova G.A. 141

CREATION OF A UNIVERSAL TOOL FOR RANKING FIELDS ON THE POTENTIAL
EFFECTIVENESS UNSTEADY WATERFLOODING

Chikirov Rust.R., Mamchistova E.I. 147

NEOTECTONIC ZONING AND PRECIOUS METAL MINERAGENY OF PRIMORIE
ON REMOTE SENSING DATA

Shevyrev S.L. 152

REVIEWS

ASSESSMENT OF FACTORS INFLUENCE ON THE COMPOSITION OF SNOW COVER
IN THE RUSSIAN ARCTIC

Kotova E.I. 158

THE HERITAGE OF PLEISTOCENE CRYOLITHOZONE IN THE ZAVOLZHYE
AND URALS REGION

Ryabukha A.G. 164

СТАТЬИ

УДК 631:551.5

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ И СТРАТЕГИЯ АДАПТАЦИИ К НИМ СЕЛЕКЦИИ И АГРОТЕХНОЛОГИЙ

Левицкая Н.Г., Демакина И.И.

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока», Саратов, e-mail: agro-uv@yandex.ru

В статье показаны изменения агроклиматических ресурсов на территории Саратовской области за период наиболее интенсивного потепления климата (1971–2018 гг.) и подчеркнута необходимость своевременной адаптации к ним сельского хозяйства региона. Представлены результаты исследований по изменению термического режима и увлажнения территории по сравнению с нормой Научно-прикладного справочника по климату СССР (1891–1980 гг.) и нормой «стандартного» 30-летия (1971–2000 гг.), рекомендуемой ВМО для характеристики современного климата. Показан рост средних месячных и годовых температур воздуха, временной сдвиг в датах устойчивого перехода температуры воздуха через 0, 5 и 10^0, что приводит к увеличению продолжительности вегетационного периода на 8–10 дней и росту его теплообеспеченности на 190–280^0. Сумма отрицательных температур воздуха уменьшилась на 165–265^0, что указывает на существенное потепление зим. Анализ текущих изменений показателей увлажненности территории указывает на увеличение межгодовой и межсезонной изменчивости осадков и рост экстремальности их выпадения. На современном этапе (2001–2018 гг.), по сравнению с нормой «стандартного» 30-летия (1971–2000 гг.), годовые суммы осадков остаются близкими к климатической норме, но сохраняется их межсезонная и межгодовая изменчивость. Наибольший рост осадков (на 20–50 %) наблюдается в марте и октябре и устойчивое их снижение – в июле, августе и сентябре. В условиях наблюдаемого режима осадков риски сильных атмосферных засух увеличились в августе на 28–30 % в лесостепных и черноземностепных районах, в сентябре – на 23–25 % и июне – на 11–25 % в сухостепных и полупустынных районах области. Дана оценка благоприятности наблюдаемых изменений климата для сельского хозяйства и представлена стратегия адаптации к ним селекции и агротехнологий.

Ключевые слова: температур воздуха, количество осадков, ГТК, засуха, адаптация

MODERN CLIMATE CHARACTERS OF THE SARATOV REGION AND ADAPTATION STRATEGY OF BREEDING AND AGROTECHNOLOGIES TO THEM

Levitskaya N.G., Demakina I.I.

Federal State Budgetary Scientific Institution «Scientific Research Institute of Agriculture of the South-East», Saratov, e-mail: agro-uv@yandex.ru

The article shows the changes in agro-climatic resources in the territory of the Saratov region during the period of the most intensive climate warming (1971–2018) and emphasizes the need for timely adaptation of the region's agriculture to them. The results of studies on changes in the thermal regime and wetting of the territory are presented in comparison with the standard of the Scientific and Applied Reference for Climate of the USSR (1891-1980) and the standard of the «established» 30 year period (1971-2000) recommended by WMO to characterize modern climate. An increase in average monthly and annual air temperatures, a time shift in the dates of a stable transition of air temperature through 0, 5 and 100 is shown, which leads to an increase in the duration of the growing season by 8-10 days and an increase in its heat supply by 190-2800. The sum of negative air temperatures decreased by 165-2650, which indicates a significant warming of winters. An analysis of the current changes in the indicators of moisture content in the territory indicates an increase in interannual and inter-seasonal variability of precipitation and an increase in the extremeness of their precipitation. At the present stage (2001-2018), compared with the standard of the «established» 30 year period (1971-2000), the annual precipitation remains close to the climatic standard, but their inter-seasonal and interannual variability remains. The greatest increase in precipitation (by 20-50 %) is observed in March and October, and their steady decline – in July, August and September. Under the observed precipitation regime, the risks of severe atmospheric droughts increased in August by 28-30 % in forest-steppe and chernozem-steppe regions, in September – by 23-25 % and in June – by 11-25 % in dry-steppe and semi-desert regions of the region in stdy. An assessment of the favorable climate change for agriculture is given, and a strategy for adaptation of breeding and agricultural technologies to them is presented.

Keywords: air temperature, rainfall, SCC, drought, adaptation

В условиях современной волны глобального потепления климата анализ региональных его проявлений и воздействия на сельское хозяйство с целью приспособления к ним агросферы приобретает все большее значение. Многие исследователи отмечают, что глобальное потепление климата практически повсеместно сопровождается снижением его устойчивости и одновременным ростом повторяемости различных неблагоприятных гидрометеорологических явлений [1–3].

Особую актуальность проблема учета климатических изменений для своевременной адаптации сельского хозяйства к новым условиям имеет в районах неустойчивого

и недостаточного увлажнения, где климат всегда отличался частой повторяемостью засух и суховеев, дестабилизирующих устойчивое развитие зернового хозяйства в регионе. Поэтому изучение пространственно-временных особенностей формирования засух и выявление тенденций их изменения с целью разработки мероприятий по снижению негативного влияния засух на сельскохозяйственное производство находятся в центре внимания ученых и специалистов [4, 5].

Цель исследования: определение количественных показателей изменения агроклиматических ресурсов Саратовской области с целью осуществления информационной поддержки при разработке мер адаптации сельского хозяйства к этим изменениям.

Задача исследований включала расчет и оценку изменения показателей тепло- и влагообеспеченности различных почвенно-климатических зон области, а также вероятности засух сильной интенсивности в отдельные периоды вегетации зерновых культур, обусловливающих наибольшие потери урожая.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследований послужили данные наблюдений за 1971–2018 гг. по 20 метеорологическим станциям, расположенным в различных почвенно-климатических зонах области, взятые из агрометеорологических бюллетеней по Саратовской области.

Современное состояние агроклиматических ресурсов сравнивалось с данными Научно-прикладного справочника по климату СССР, в котором обобщены материалы наблюдений за 1891–1980 г. [6]. Кроме того, были учтены рекомендации ВМО по использованию для характеристики современного климата в качестве «стандартного» 30-летия данных за 1971–2000 гг. Климатические нормы за этот период по температуре воздуха и осадкам были рассчитаны по всем 20 метеостанциям области. Чтобы оценить тенденции и скорость изменения агроклиматических ресурсов на современном этапе, с этими климатическими нормами сравнивались средние показатели тепло и влагообеспеченности вегетационного периода за 2001–2018 гг.

Средние многолетние температуры воздуха и суммы осадков за анализируемые периоды определялись с помощью статистического метода.

Интенсивность засух оценивалась по гидротермическому коэффициенту Селянинова (ГТК) в соответствии со следующими критериями этого показателя: ГТК ≤ 0,3 – очень сильная засуха; ГТК = 0,4 – 0,5 – сильная засуха и ГТК = 0,6 – 0,7 – средняя засуха.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведенный анализ показал, что среднегодовая температура воздуха во всех природных зонах Саратовской области за 1981–2018 гг. увеличилась по сравнению с климатической нормой за 1891–1980 гг. на 1,5–1,6 °С (табл. 1). Так по данным климатического справочника среднегодовая температура воздуха изменялась от 4,2 ° в лесостепи до 5,8 ° в полупустынных районах области, а в период с 1981 по 2018 г. она стала составлять от 5,7 ° до 7,4 ° соответственно При этом основной вклад в рост годовой температуры воздуха внесли зимние месяцы, средние температуры которых увеличились на 2,7–4,9 °С. В период с мая по сентябрь рост температуры воздуха в основном составил 0,4–0,8 °С.

Тенденции устойчивого роста температуры воздуха прослеживаются и при сравнении средних многолетних показателей за 2001–2018 гг. со стандартной климатической нормой за 1971–2000 гг. Средняя годовая температура воздуха за 1971–2000 гг. изменялась по природным зонам от 5,1 ° до 6,8 °, а за последний 18-летний период ее значения составляли от 6,2 ° до 7,8 °, т.е. увеличились на 1,0–1,1 °С. Однако основной вклад в рост годовой температуры воздуха вносят уже не зимние месяцы, а март, июль, август, сентябрь и ноябрь, причем наибольшее увеличение (на 2,0–2,2 °С) температуры воздуха на современном этапе наблюдается в августе.

Отмеченные выше изменения температурного режима приводят к дальнейшему временному сдвигу в датах устойчивого перехода температуры воздуха через 0; 5 и 10 °. Так весной переход температуры через 0 ° в среднем стал происходить на 6, а через 5 и 10 ° – на 2–3 дня раньше прежних сроков. Осенью переходы температур через эти пределы происходят наоборот позже в среднем на 8 дней по сравнению с прежними сроками. В итоге продолжительность вегетационного периода в регионе увеличилась на 8–10 дней. Эти тенденции следует отнести к положительным последствиям наблюдаемых изменений климата, поскольку в регионе создаются условия для внедрения культур с более длительным периодом вегетации.

Таблица 1

Изменение показателей термических ресурсов за различные временные периоды по природным зонам Саратовской области

Природная зона	Показатель			
	Средняя годовая температура воздуха, °С	Средняя температура самого теплого месяца (июля), °С	Сумма температур воздуха выше 10 °С	Продолжительность вегетационного периода, дни
1981–2018÷1891–1980 гг.				
Лесостепь	1,5	0,7	280	10
Засушливая черноземная степь	1,5	0,4	240	9
Сухая степь	1,6	0,4	210	8
Полупустыня	1,6	0,6	190	8
2001–2018÷1971–2000 гг.				
Лесостепь	1,1	1,2	190	9
Засушливая черноземная степь	1,0	1,3	150	10
Сухая степь	1,0	1,1	130	8
Полупустыня	1,0	1,0	120	8

Активное потепление в весенне-летний и осенний периоды сказывается на увеличении теплообеспеченности вегетационного сезона. За период интенсивного потепления (1981–2018 гг.) сумма температур воздуха выше +10 ° увеличилась по сравнению с климатической нормой за 1891–1980 гг. на 240–280 ° в черноземностепных и лесостепных районах и на 190–210 ° в полупустынных и сухостепных районах Заволжья. Теплообеспеченность вегетационного сезона в этот период превышала климатическую норму в 84 % лет. Максимальные положительные аномалии по суммам температур (600–800 °) наблюдались в 1991, 1995, 2010 и 2012 гг. В период с 2001 по 2018 гг. по сравнению с нормой за 1971–2000 гг. показатель теплообеспеченности вегетационного периода увеличился в этих районах соответственно на 150–190 ° и 120–130 °С, а повторяемость положительных аномалий сумм температур составила78 %.

В целом рост теплообеспеченности вегетационного периода является благоприятным фактором, так как позволяет отдавать предпочтение в выращивании позднеспелых сортов и гибридов, отличающихся, как известно, большей продуктивностью.

К благоприятным последствиям потепления климата следует отнести и увеличение повторяемости теплых зим. В период с 1981 по 2018 гг. в 84 % лет зимы на всей территории области отличались экстремально теплым или аномально теплым температурным режимом, а последняя экстремально холодная зима, когда средняя за декабрь – февраль температура воздуха была на 3,5 ° ниже климатической нормы, наблюдалась в 1969 г. Сумма отрицательных температур воздуха за период с 2001 по 2018 г. уменьшилась, по сравнению с нормой «стандартного» 30-летия, на 165–265 °, что также указывает на существенное потепление зим.

Наблюдаемая тенденция благоприятна для зимовки озимых культур, поскольку до 1980-х гг. преобладающей причиной повреждения и гибели озимых культур в период зимовки, по исследованиям П.Г. Кабанова, было вымерзание посевов осенью до установления устойчивого снежного покрова или в начале весны после раннего его схода с полей. Среди наблюдаемых изменений климата необходимо отметить, что в последние годы в области увеличивается вероятность зим с аномально высоким снежным покровом, неглубоким промерзанием почвы и высокой температурой почвы на глубине узла кущения озимых в течение всей зимовки. По данным В.А. Моиссейчик, при сохранении на полях мощного снежного покрова высотой более 30–40 см в течение более 5 декад, глубине промерзания почвы менее 50 см и температуре почвы на глубине узла кущения озимых равной –0… –1 ° создаются благоприятные условия для развития процессов выпревания растений. Примером такой зимы в Саратовской области стала зима 2018–2019 гг. Аномально высокий снежный покров в большинстве районов области установился в третьей декаде декабря и сохранялся в течение 9–10 декад

подряд при температуре почвы на глубине 3 см равной –0–1° и глубине промерзания почвы около 30 см. В таких условиях гибель озимых от выпревания в отдельных районах превысила 20–30% площадей. Исследованиями установлено, что за период с 1981 по 2018 г. условия для выпревания озимых в северных и северо-западных районах Правобережья Саратовской области складывались в 20% лет.

С учетом выявленной тенденции изменения климатических условий зимнего периода возникает необходимость селекции и подбора сортов озимых культур, обладающих высокой толерантностью к изменениям температурного режима и устойчивых к выпреванию с оптимальным размещением их по почвенно-климатическим зонам региона.

Анализ текущих изменений показателей увлажнения, в качестве которых рассматривались суммы осадков и значения ГТК, характеризующего соотношение изменений температуры воздуха и количества осадков, показал, что в исследуемый период наблюдается увеличение межгодовой и межсезонной изменчивости сумм атмосферных осадков, что нивелирует положительную динамику термических показателей, неблагоприятно сказываясь на сельском хозяйстве.

Исследованиями установлено, что средняя годовая сумма осадков за период наиболее интенсивного потепления климата (с 1981 по 2018 г.) изменялась от 521 мм в лесостепи до 331 мм в полупустыне, тогда как по данным климатического справочника значения годовых сумм осадков изменялись от 489 до 310 мм. То есть в среднем по всем природным зонам региона годовое количество осадков увеличилось на 7–8%. При этом основной вклад в увеличение количества годовых осадков внесли осадки холодного периода, сумма которых выросла за 1981–2018 гг., по сравнению с климатической нормой, на 40–70% (табл. 2). Сумма осадков теплого периода также увеличилась в основном на 6–15% за счет роста осадков в апреле, июне и сентябре. В то время как в мае и августе отмечалась устойчивая тенденция уменьшения количества выпадающих осадков.

На современном этапе, по сравнению с нормой «стандартного» 30-летия, наблюдается несколько иная картина изменчивости атмосферных осадков. Так суммы осадков в целом за год, теплый и холодный периоды в большинстве районов области остаются близкими к климатической норме за 1970–2000 гг., составляющей от 520 до 334 мм. Однако сохраняется внутрисезонная изменчивость осадков, выражающаяся в наибольшем росте осадков (на 20–50%) в марте и октябре, а также их увеличении на 10–20% в январе, феврале, апреле и мае. При этом устойчиво уменьшается количество осадков во всех природных зонах в июле, августе и сентябре. В сухостепных и полупустынных районах эта тенденция сохраняется еще и в июне, ноябре и декабре.

Исследованиями также установлено, что в условиях современной волны потепления климата увеличивается экстремальность выпадающих осадков. Это выражается в увеличении интенсивности ливневых осадков, с одной стороны, и повышении риска засушливых явлений, с другой стороны.

Таблица 2

Изменение количества осадков (в%) за различные временные периоды по природным зонам Саратовской области

Природная зона	Сумма осадков, %			
	год	Теплый период	Холодный период	Май – июль
1981–2018÷1891–1980 гг.				
Лесостепь	106	116	142	102
Засушливая черноземная степь	108	114	150	105
Сухая степь	111	106	171	103
Полупустыня	107	123	140	102
2001–2018÷1971–2000 гг.				
Лесостепь	97	97	104	96
Засушливая черноземная степь	103	99	115	104
Сухая степь	101	100	101	97
Полупустыня	96	101	90	95

Для практического использования информации об изменениях рисков сильных атмосферных засух при корректировке технологий возделывания сельскохозяйственных культур важно оценить эти изменения в отдельные периоды вегетации.

Так, известно, что большой вклад в исход зимовки озимых культур вносят сроки сева и условия осенней вегетации растений, которые определяют их состояние после прекращения вегетации. Для определения рисков поздних летних и осенних засух по всем природным зонам был проведен анализ значений ГТК ≤ 0,5, характеризующих сильную засуху, в августе и сентябре.

Результаты расчетов показали, что вероятность сильных засух в августе во всех природных зонах области значительно превосходит вероятность этого опасного явления в сентябре. При этом наиболее часто сильные засухи наблюдаются в сухостепных и крайних юго-восточных районах Заволжья. Так, в период 1971–2000 гг. их повторяемость в августе в этих районах составила 60-83 %, а после 2000 г. увеличилась до 78–94 % (табл. 3).

Таблица 3

Вероятность (%) сильных атмосферных засух (ГТК ≤ 0,5) в VIII и IX за период 1971–2000 и 2001–2018 гг.

Зона	Август	Сентябрь
1971–2000		
Лесостепь	27	33
Засушливая черноземная степь	33	33
Сухая степь	60	33
Полупустыня	83	47
2001–2018		
Лесостепь	56	22
Засушливая черноземная степь	61	33
Сухая степь	78	56
Полупустыня	94	72

Необходимо также отметить, что на современном этапе потепления вероятность сильных засух в августе в лесостепных и черноземностепных районах увеличилась в 2 раза. При этом в сентябре рост повторяемости сильных засух (на 23–25 %) отмечается лишь в сухостепных и полупустынных районах Левобережья. Вполне очевидно, что данную информацию об увлажненности периода осенней вегетации озимых в комплексе с информацией о более поздних сроках прекращения их вегетации следует использовать для корректировки оптимальных сроков сева озимых. Наблюдаемые тенденции указывают на целесообразность смещения сроков сева на более поздние даты, т.е. на сентябрь, когда условия увлажнения по сравнению с августом улучшаются.

Чтобы оценить динамику сильных засух в основной период весенне-летней вегетации зерновых культур по всем природным зонам области, была рассчитана вероятность сильных атмосферных засух с ГТК ≤ 0,5 в мае – июне.

Из анализа табл. 4 следует, что наиболее часто сильные засухи во всех природных зонах наблюдаются в мае. В июне риски таких засух уменьшаются в среднем на 16–20 %.

Сравнительный анализ вероятности сильных засух за два этих периода показывает, что на современном этапе потепления риски сильных засух существенно увеличились (на 15–20 %) лишь в крайних юго-восточных районах Левобережья. В сухостепных районах риски сильных засух в мае – июне практически не изменились, а в черноземностепных и лесостепных районах они даже уменьшились на 11–22 %.

Таблица 4

Вероятность (%) сильных атмосферных засух (ГТК ≤ 0,5) в основной период весенне-летней вегетации за 1971–2000 и 2001–2018 гг.

Зона	Май	Июнь	Май – июнь
1971–2000			
Лесостепь	40	20	33
Засушливая черноземная степь	43	27	33
Сухая степь	53	33	37
Полупустыня	63	47	53
2001–2018			
Лесостепь	39	17	11
Засушливая черноземная степь	33	17	22
Сухая степь	56	44	39
Полупустыня	78	72	72

Проведенные исследования указывают на то, что на современном этапе потепления тенденции изменения вероятности сильных засух в основной период весенне-летней вегетации зерновых культур в разных почвенно-климатических зонах области имеют разнонаправленный характер, что требует более детального учета наблюдаемых изменений климата при корректировке технологий возделывания полевых культур.

Заключение

Представленная выше информация свидетельствует о достаточно существенных изменениях агроклиматических ресурсов региона, которые обязательно должны учитываться при разработке мер своевременной адаптации сельского хозяйства к наблюдаемым изменениям климата. В целом динамику изменения термических показателей территории можно отнести к благоприятным последствиям наблюдаемого потепления климата. Увеличение продолжительности вегетационного периода создает условия для внедрения в регионе культур с более длительным вегетационным периодом, а рост теплообеспеченности вегетационного периода позволяет возделывать в северных районах области не только скороспелые, но и раннеспелые и позднеспелые сорта и гибриды поздних культур, отличающихся большей продуктивностью.

Увеличение рисков сильных атмосферных засух в предпосевной период озимых культур и период весенне-летней вегетации зерновых оказывает негативное влияние на производство зерна. С учетом наблюдаемых тенденций изменения режима увлажненности территории, одной из главных мер приспособления сельского хозяйства к изменениям климата является адаптивная селекция озимых и яровых культур, правильный подбор их сортового состава и оптимальное размещение в различных почвенно-климатических зонах региона.

Технологии возделывания зерновых культур обязательно должны включать влагосберегающие способы обработки почвы, а также восстановление и развитие орошения.

Повышению устойчивости зернового производства будет способствовать соответствие темпов адаптации сельского хозяйства темпам изменения климата. Несоблюдение этого условия может привести к уменьшению среднего уровня урожайности зерновых культур и дестабилизации сельскохозяйственного производства.

Список литературы

1. Иванов А.Л. Глобальное изменение климата и его влияние на сельское хозяйство России // Земледелие. 2009. № 1. С. 3–5.

Ivanov A.L. Global climate change and its impact on Russian agriculture // Zemledelie. 2009. № 1. P. 3–5 (in Russian).

2. Устойчивость земледелия и риски в условиях изменения климата: резюме коллективной монографии / под ред. А.Л. Иванова, И.Б. Ускова. Агрофизический НИИ. СПб., 2009. 95 с.

Sustainability of agriculture and risks in the context of climate change: a summary of the collective monograph / ed. A.L. Ivanova, I.B. Uskova. Agrophysical Research Institute. SPb., 2009. 95 p. (in Russian).

3. Иванова Г.Ф., Левицкая Н.Г., Орлова И.А. Оценка современного состояния агроклиматических ресурсов Саратовской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2013. Т. 13. № 2. С.10–12.

Ivanova G.F., Levitskaya N.G., Orlova I.A. Estimation of the Present State of Agro-climatic Resources of Saratov Region // Bulletin of the Saratov University. New series. Series: Earth Sciences. 2013. T. 13. № 2. P. 10–12 (in Russian).

4. Левицкая Н.Г., Шаталова О.В., Иванова Г.Ф. Засухи в Поволжье и их влияние на производство зерна // Аграрный вестник Юго-Востока. 2010. № 3–4. С. 71–74.

Levitskaya N.G., Shatalova O.V., Ivanova G.F. Droughts in the Volga region and their impact on grain production // Agrarian Bulletin of the South-East. 2010. № 3–4. P. 71–74 (in Russian).

5. Пряхина С.И., Гужова Е.И., Смирнова М.М. Климатические риски в сельскохозяйственном производстве и некоторые пути их преодоления // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2011. Т. 11. № 2. С. 35–41.

Pryakhina S.I., Guzhova E.I., Smirnova M.M. Climatic Risk in Agricultural Production and Some Ways Their Overcome // Bulletin of the Saratov University. New series. Series: Earth Sciences. 2011. T. 11. № 2. P. 35–41 (in Russian).

6. Научно-прикладной справочник по климату СССР Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Выпуск 12. Л.: Гидрометеоиздат,1988. 647 с.

Scientific and Applied Reference on the Climate of the USSR Series 3 Long-Term Data. Parts 1–6. Issue 12. L.: Gidrometeoizdat, 1988. 647 p. (in Russian).

УДК 631.811.9:633.491

УВЕЛИЧЕНИЕ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ КАРТОФЕЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БОРОСОДЕРЖАЩЕГО ХЕЛАТНОГО СОЕДИНЕНИЯ

[1]Петрова А.А., [2]Смирнова Т.И., [2]Павлов М.Н., [2]Дроздов И.А.

[1]ФГБНУ ФНЦ ЛК, Тверь, e-mail: a.petrova@fnclk.ru;
[2]ФГБОУ ВО «Тверская ГСХА», Тверь, Сахарово

В однофакторном полевом опыте в 2016–2017 гг. на дерново-среднеподзолистой почве выявлен характер воздействия внекорневой подкормки боросодержащим комплексонатом на основе этилендиаминдиянтарной кислоты (В-ЭДДЯК) на урожайность и химический состав клубней картофеля (*Solanum tuberosum L.*) позднеспелого сорта Ласунак в сравнении с результатами воздействия традиционного борного микроудобрения – борной кислоты. Обнаружено, что бор в составе хелатного комплекса В-ЭДДЯК растениями картофеля поглощается более активно по сравнению с нехелатированной формой микроудобрения ($\Delta\omega$ = +48,6% по сравнению с +40,0% относительно контроля). Заметное стимулирующее действие на урожайность клубней картофеля оказывает некоординированный комплексон (ЭДДЯК) в составе раствора очень низкой концентрации, что, по-видимому, связано с тем, что при внекорневой обработке часть препарата, попадая в почву, переводит не только бор, но и другие микроэлементы минеральной составляющей почвы, в легко доступные для растений растворимые комплексные соединения, что и увеличивает урожайность на 14,8%. Исследуемый препарат (В-ЭДДЯК) повышает урожайность картофеля: прибавка составила 5,9 т/га (21,3%), в то время как при обработке раствором H_3BO_3 – только 2,9 т/га (10,5%). Кроме того, применение В-ЭДДЯК увеличивает питательную ценность клубней: содержание крахмала – на 3,6%, аскорбиновой кислоты – на 3,4 мг/100 г, биофлавоноидов – на 12 мг/100 г сырого вещества. С учётом малого количества расходуемого для обработки боратного комплекса на основе ЭДДЯК, его экологической безопасности данный препарат эффективно использовать в качестве нового борного микроудобрения.

Ключевые слова: картофель, комплексонаты, внекорневая подкормка, качество, продуктивность

THE INCREASE IN NUTRITIVE VALUE OF POTATO WHEN USING THE BORON CHELATE

[1]Petrova A.A., [2]Smirnova T.I., [2]Pavlov M.N., [2]Drozdov I.A.

[1]Federal Scientific Center of Bast Crops, Tver, e-mail: a.petrova@fnclk.ru;
[2]Tver State Agricultural Academy, Tver, Sakharovo

In one-factor field experiment in 2016 – 2017 on sod-mid-podzolic soil the impact of foliar feeding with boron complexonate based on ethylenediaminetetra acid (B-EDDS) on yield and chemical composition of potato tubers (*Solanum tuberosum L.*) of late-ripening varieties Lasunak in comparison with the results of the impact of traditional micronutrient boric – boric acid was revealed. It was found that boron in the B-EDDS chelate complex is absorbed by potato plants more actively than the non-chelated form of microfertilizer ($\Delta\omega$ = +48.6% compared to +40.0% relative to the control). A noticeable stimulating effect on the yield of potato tubers is provided by uncoordinated complexon (EDDS) in a solution of a very low concentration, which is apparently due to the fact that during foliar treatment, part of the drug, getting into the soil, translates not only boron, but also other trace elements of the mineral component of the soil, into easily accessible soluble complex compounds for plants, which increases the yield by 14.8%. The studied preparation (B- EDDS) increases the yield of potatoes: the increase was 5.9 t / ha (21.3%), while when treated with a solution of H_3BO_3 – only 2.9 t/ha (10.5%). In addition, the use of B- EDDS increases the nutritional value of tubers: starch content – by 3.6%, ascorbic acid – by 3.4 mg/100 g, bioflavonoids – by 12 mg/100 g of raw material. Taking into account the small amount spent for the treatment of borate complex based on EDDS, its environmental safety, this drug is effectively used as a new boron microfertilizer.

Keywords: potatoes, complexonates, foliar feeding, quality, productivity

Картофель *Solanum tuberosum L.* имеет большое значение как пищевая, техническая и кормовая культура. Однако главное значение – продовольственное, в связи с чем в России его называют вторым хлебом [1].

Клубни картофеля содержат около 25% сухих веществ, в том числе 14...22% крахмала, 1,4...3,0% белков, около 1% клетчатки, 0,2...0,3% жира и 0,8...1,0% зольных веществ [2].

Картофель для организма человека является важным источником витамина С и Р- активных соединений. Клубни содержат «устойчивый» крахмал, который способствует нормализации работы кишечника. Картофельный сок рекомендуется при заболеваниях желудка. Все это свидетельствует о его лечебном значении. Клубни картофеля – сырье для промышленного производства ценных продуктов. Из 1 тонны клубней картофеля с крахмалистостью 17,5% можно получить 112 литров спирта, 55 кг жидкой углекислоты или 170 кг крахмала [1].

Картофель и продукты его переработки (свежая и сухая мезга, барда) – хороший

корм для животных. В 100 кг клубней содержится 25–30 кормовых единиц и 2,1 кг переваримого протеина, в ботве 8,5–12 корм. ед. и 1,6 кг переваримого протеина. Поэтому второе значение его – кормовое [1].

Картофель – стратегическая культура XXI в. Его клубни находятся в почве и защищены от радиационного заражения, что позволяет использовать картофель как страховую культуру, способную в экстремальных условиях погоды накопить высокий урожай [1].

В настоящее время мировой урожай картофеля достигает 300 млн т. В Нечерноземье картофель – одно из важнейших культивируемых растений. Однако почвы северо-западных областей нашей страны и Тверской области в том числе, кроме ряда особенностей, характеризуются ещё и низким содержанием большинства необходимых растениям микроэлементов.

Вместе с тем глобальное загрязнение окружающей среды и нарушение экологического баланса биосферы выдвигают перед производителями сельскохозяйственного сырья и продуктов питания на первый план проблему получения экологически чистой продукции как растительного, так и животного происхождения. В последние годы во всём мире около 50% прироста урожайности сельскохозяйственных культур достигается внесением удобрений, причём 20% этого прироста обусловлено использованием микроудобрений, содержащих соединения бора, цинка, меди, марганца, кобальта, молибдена и других, требующихся растениям в меньших количествах, микроэлементов. Низкая обеспеченность сельского хозяйства микроудобрениями – это не только реальное препятствие дальнейшего роста урожайности, но и одна из главных причин ухудшения качества сельскохозяйственного сырья и продуктов питания, выражающегося не только в снижении их энергетической ценности, но и сокращении содержания микроэлементов, витаминов и других биологически активных веществ.

Укрепление продовольственной безопасности требует увеличения выпуска качественной продукции, для чего в свою очередь необходима надежная сырьевая база [3]. Важным фактором в решении этого вопроса является улучшение качества минерального питания с применением важнейших микроэлементов, особенно бора. Недостаток бора, необходимого растениям в более значительных по сравнению с другими микроэлементами количествах, вызывает снижение урожайности сельскохозяйственных культур и ухудшение качества получаемой продукции. Растениям бор необходим в течение всего периода вегетации. При дефиците бора наблюдается отмирание апикальной точки роста стебля растения, сопровождающееся ростом боковых побегов, точки роста которых затем также отмирают [4]. Растения поражаются сухой гнилью, дуплистостью (корнеплоды), нарушением оплодотворения (лён), пожелтением (кормовые бобовые), коричневой гнилью (цветная капуста), бактериозом [5]. Большая часть бора растительных организмов локализована в клеточной стенке преимущественно в составе комплексов с пектином [6]. При дефиците этого микроэлемента свойства клеточной стенки значительно изменяются, что приводит к замедлению растяжения и деления клеток, формирования тканей. Бор не входит в состав каких-либо растительных ферментов, но может оказывать косвенное влияние на скорость большого числа биохимических процессов, ингибируя или активируя ферменты и субстраты, поскольку борат-анионы способны к координации разнообразных соединений, содержащих в составе молекул гидроксильные группы. По-видимому, таким образом, бор участвует в синтезе и транспорте углеводов, метаболизме нуклеиновых кислот, ростовых веществ, фенолов [6], что в течение вегетационного периода формирует количественный и качественный состав вегетативной и продуктивной частей растения. Поэтому актуальным является вопрос оптимизации обеспечения культивируемых растений бором рациональными и экологически безопасными методами.

Из почвы растения получают бор в форме борат-анионов [6], способных к образованию хелатных комплексов не только с гидроксилсодержащими лигандами, но и с синтетическими аминокарбоновыми кислотами [7]. В ряду таких лигандов как эффективное и экологически безопасное хелатирующее соединение выделяется этилендиаминдиянтарная кислота (ЭДДЯК) [8–10]. Свойства и биологическая активность борат-этилендиаминдисукцинатнго комплекса (В-ЭДДЯК) исследованы в недостаточном объёме, но представляют не только теоретический интерес, но и практическую значимость, поскольку известно, что микроэлементы эффективнее усваиваются растениями в составе комплексонатов [11]. Хелатный комплекс В-ЭДДЯК экологически безопасен, так как содержит

экологически безопасный лиганд – этилендиаминдиянтарную кислоту и низкотоксичный борат в качестве комплексообразователя. Поэтому вполне целесообразным представлялось исследование биологической активности В-ЭДДЯК на одном из наиболее распространённых культивируемых растений. Картофель хорошо отзывается на внесение борных микроудобрений. На чернозёмных почвах применение борной кислоты без макроудобрений увеличивает урожайность клубней на 5,7 т/га [12].

Целью поставленного опыта было сравнение влияния борат-этилендиаминдисукцината (В-ЭДДЯК) и борной кислоты на урожайность и пищевую ценность клубней картофеля.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в 2016–2017 гг. в однофакторном полевом опыте на опытном поле Тверской ГСХА. Почва – дерново-среднеподзолистая остаточно карбонатная глееватая на морене, супесчаная по гранулометрическому составу, хорошо окультурена. Мощность пахотного горизонта 20–22 см, содержание гумуса 2,5% (по Тюрину), легкогидролизуемого азота 101 мг/кг (по Корнфилду), P_2O_5 – 253 и K_2O – 113 мг/кг (по Кирсанову), $pH_{сол.}$ 5,8.

Схема опыта:

1) контроль (вода 100 мл/м^2);

2) раствор борной кислоты (100 мл/1 м^2);

3) раствор В-ЭДДЯК – боратный комплекс на основе ЭДДЯК (100 мл/м^2);

4) раствор ЭДДЯК (100 мл/м^2).

Концентрация растворённых веществ в растворах 0,002 моль/л. Площадь учетной делянки – 5 м^2. Общая площадь под опытом – 80 м^2. Повторность в опыте четырёхкратная.

Объект исследований – позднеспелый сорт картофеля. Известно, что поздние сорта картофеля способны накапливать на много больше питательных веществ и повышать пищевую ценность культуры [1]. Поэтому для изучения был выбран наиболее известный, урожайный, универсальный сорт с высокими вкусовыми качествами – Ласунак (рисунок). Оригинатор: ГНИУ ВНИИСХ использования мелиорированных земель. РУП НПЦ НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству.

Характеристика сорта: позднеспелый, многостороннего использования. Клубни округло-овальные, кожура светло-желтая, мякоть кремовая, глазки средней глубины. Растение с прямостоячим высоким стеблем, с белой окраской цветков. Период покоя непродолжительный, лежкость клубней удовлетворительная и хорошая, содержание крахмала в клубнях 15–22%. Устойчив к раку, фитофторозу (по клубням), различным вирусам, среднеустойчив к фитофторозу листьев, парше обыкновенной, ризоктониозу, черной ножке, восприимчив к вирусу «Х». Ценность сорта заключается в высокой урожайности, хороших вкусовых качествах, устойчивости к фитофторозу, вирусам, пригодности для производства различных видов продукции: сухого картофельного пюре, чипсов, замороженных клубней, сухого крахмала, спирта [1].

Клубни картофеля сорта Ласунак

При выращивании картофеля использовали экологически чистую (безопасную) технологию [1]. Предшественник – занятый пар. Внекорневая подкормка растений картофеля вносилась согласно схеме опыта. В течение вегетационного периода до фазы цветения производили однократное опрыскивание растений картофеля сорта Ласунак растворами исследуемых соединений. Контрольные растения одновременно с опытными обрабатывали дистиллированной водой.

Учет урожая проводили по стандартной методике [13]. После уборки клубней в них по традиционным методикам определяли содержание аскорбиновой кислоты, Р-активных веществ [14] и фотоэлектроколориметрическим методом (фотометр КФК-3 2МП) – содержание крахмала [15], поскольку биосинтез этих веществ (углеводов, их производных, в том числе аскорбиновой кислоты, полифенолов) зависит от уровня содержания бора [4, 6] и в значительной мере определяет качество клубней картофеля как пищевого сырья и важнейшего из сочных кормов для сельскохозяйственных животных.

Погодные условия в годы исследований были неодинаковы по температурным условиям: 2016 г. отличался теплой и влажной погодой, 2017 – был прохладным и влажным. Гидротермический коэффициент (по Селянинову) за вегетацию составил в 2016 г. – 1,53, в 2017 г. – 1,96 (при норме 1,46). В оба года исследований картофель получал достаточно влаги, но недополучил тепла в 2017 г. Сумма биологически активных температур (>10 °С) за период посадка – уборка составила в 2017 г. 1889,8 °С при норме 1970 °С, (недобор 80,7 °С или 4,1 %).

Результаты исследования и их обсуждение

В результате исследований выявлено, что некорневая подкормка растений картофеля различными препаратами по-разному повлияла на урожайность картофеля и содержание бора в клубнях (табл. 1).

Выявлено, что бор в составе хелатного комплекса В-ЭДДЯК растениями картофеля поглощается более активно по сравнению с нехелатированной формой микроудобрения ($\Delta\omega$ = +48,6 % по сравнению с +40,0 % относительно контроля).

Более значительно влияет обработка раствором хелатного комплекса на увеличение урожайности. Прибавка составила 5,9 т/га (21,3 %), в то время как при обработке раствором H_3BO_3 – только 2,9 т/га (10,5 %).

В опыте выявлено заметное стимулирующее действие на урожайность клубней картофеля некоординированного комплексона (ЭДДЯК) в составе раствора очень низкой концентрации, по-видимому, связаное с тем, что при внекорневой обработке часть препарата, попадая в почву, переводит не только бор, но и другие микроэлементы минеральной составляющей почвы, в легко доступные для растений растворимые комплексные соединения, что и увеличивает урожайность на 14,8 %.

Исследование влияния действующего вещества раствора на качество клубней картофеля (табл. 2) позволило установить, что внекорневая обработка препаратами вызвала не только повышение урожайности, но и увеличение содержания в клубнях крахмала, аскорбиновой кислоты и биофлавоноидов (в пересчете на рутин) в двух из трёх вариантов опыта.

Таблица 1

Влияние внекорневой подкормки растений картофеля на урожайность и содержание бора в клубнях

№ п/п	Действующее вещество в растворе для обработки	Бор в клубнях, мг/кг сырого вещества			Урожайность, т/га		
		2016 г.	2017 г.	ср. по двум годам	2016 г.	2017 г.	ср. по двум годам
1	Контроль	3,8 ± 0,1	3,5 ± 0,1	3,6	27,3	28,0	27,7
2	H_3BO_3	5,2 ± 0,1	4,9 ± 0,1	5,0	30,2	31,0	30,6
3	В-ЭДДЯК	6,3 ± 0,2	5,2 ± 0,1	5,8	32,6	34,5	33.6
4	ЭДДЯК	5,3 ± 0,2	4,5 ± 0,2	4,9	31,0	32,5	31,8
	$НСР_{05}$	–	–	–	2,5	2,9	1,3

Таблица 2

Изменение содержания биологически активных веществ в клубнях картофеля в зависимости от действующего вещества раствора, использованного для внекорневой подкормки растений

№ п/п	Действующее вещество в растворе для обработки	Крахмал, %			Аскорбиновая кислота, мг/100 г сырого вещества			Биофлавоноиды в пересчёте на рутин, мг/100 г сырого вещества		
		2016 г.	2017 г.	ср. по двум годам	2016 г.	2017 г.	среднее по двум годам	2016 г.	2017 г.	ср. по двум годам
1	Контроль (вода)	19,1	22,0	21,0	11,2 ± 0,2	9,6 ± 0,1	10,4 ± 0,2	43 ± 1	55 ± 2	49 ± 2
2	H_3BO_3	20,2	25,1	22,6	11,9 ± 0,1	12,1 ± 0,2	12,0 ± 0,2	46 ± 1	56 ± 1	51 ± 1
3	В-ЭДДЯК	23,0	26,2	24,6	14,7 ± 0,1	13,0 ± 0,1	13,8 ± 0,1	56 ± 1	66 ± 2	61 ± 2
4	ЭДДЯК	18,9	19,4	19,2	7,3 ± 0,2	11,3 ± 0,2	9,3 ± 0,2	48 ± 1	57 ± 3	52 ± 2

Так, уровень содержания крахмала при обработке раствором H_3BO_3 возрос на 7,6%, а при обработке раствором В-ЭДДЯК – на 17,1%. Наибольшее увеличение содержания аскорбиновой кислоты выявлено также в третьем варианте опыта, что вполне объяснимо влиянием бора на синтез и транспорт сахаров, а крахмал и аскорбиновая кислота в растительных организмах являются производными D-глюкозы [6]. Поскольку биофлавоноиды представляют собой производные фенолов, с метаболизмом которых в растительных тканях связан бор, их наибольшее содержание отмечено в клубнях растений также третьего варианта, где и соединений бора найдено больше всего. По сравнению с клубнями контрольных растений в клубнях третьего варианта содержание Р-активных веществ возросло на 24,5%.

Заключение

Таким образом, боратный комплекс на основе ЭДДЯК (В-ЭДДЯК) повышает урожайность картофеля на 5,9 т/га (21,3%), увеличивает питательную ценность клубней: содержание крахмала – на 3,6%, аскорбиновой кислоты – на 3,4 мг/100 г, биофлавоноидов – на 12 мг/100 г сырого вещества. С учётом малого количества и экологической безопасности расходуемого для обработки препарата по результатам проведённого эксперимента можно сделать вывод о значительной его эффективности в качестве нового борного микроудобрения для повышения урожайности, а также пищевой и кормовой ценности клубней картофеля.

Список литературы / References

1. Усанова З.И., Осербаев А.К., Зияев К.И., Павлов М.Н. Клубнеплоды. Биологические особенности и технологии возделывания картофеля и земляной груши. Тверь: Тверская ГСХА, 2018. 150 с.

Usanova Z.I. Ozerbaev A.K., Zeev K.I., Pavlov M.N. Tubers. Biological characteristics and cultivation technology of potatoes and artichoke. Tver: Tverskaya GSKHA, 2018. 150 p. (in Russian).

2. Посыпанов Г.С. Растениеводство. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. 612 с.

Posypanov G.S. Plant growing. M.: NITS INFRA-M, 2015. 612 p. (in Russian).

3. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации // Указ Президента РФ от 30 января 2010 г. № 120. [Электронный ресурс]. URL: http://mcx.ru/documents/document/show/14856.19.htm (дата обращения: 16.08.2019).

The doctrine of food security of the Russian Federation// Decree of the President of the Russian Federation of January 30, 2010. № 120. [Electronic resource]. URL: http://mcx.ru/documents/document/show/14856.19.htm (date of access: 16.08.2019) (in Russian).

4. Пашкевич Е.Б., Суворова Е.Е., Верховцева Н.В. Физиолого-биохимические функции бора в растении // Агрохимия. 2011. № 11. С. 85–96.

Pashkevich E.B., Suvorova E.E., Verkhovtseva N.V. Physiological and biochemical functions of boron in a plant // Agrochemistry. 2011. № 11. P. 85–96 (in Russian).

5. Ягодина Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия / под ред. Б.А. Ягодиной. М.: Колос. 2002. 584 с.

Jagodina B.A., Zhukov Y.P., Kobzarenko V.I. Agrochemistry / ed. B.A. Yagodin. M.: Kolos. 2002. 584 p. (in Russian).

6. Ермаков И.П. Физиология растений. М.: «Академия», 2007. 640 с.

Ermakov I.P. Plant Physiology. M.: «Agrokhimiya», 2007. 640 p. (in Russian).

7. Толкачёва Л.Н. Физико-химическое исследование процессов комплексообразования элементов III-А подгруппы с комплексонами, производными янтарной кислоты: дис. … канд. хим. наук. Тверь, 2012. 124 с.

Tolkacheva L.N. Physical and chemical study of the processes of complexation of elements with III-A subgroups with complexons, derivatives of succinic acid: dis. … kand. khim. nauk. Tver, 2012. 124 p. (in Russian).

8. Смирнова Т.И., Хижняк С.Д., Никольский В.М., Халяпина Я.М., Пахомов П.М. Деградация комплексонов, производных янтарной кислоты, под действием УФ излучения // Журнал прикладной химии. 2017. Т. 90. № 4. С. 406–411.

Smirnova T.I., Khalyapina Y.M., Khizhnyak S.D., Nikol'skii V.M., Pakhomov P.M. Degradation of complexons derived from succinic acid under UV radiation // Russian Journal of Applied Chemistry 2017. T. 90. Vol. 4. P. 406–411. DOI: 10.1134/S1070427217040024.

9. Дятлова Н.М., Тёмкина В.Я., Попов К.И. Комплексоны и комплексонаты металлов. М.: Химия, 1988. 544 с.

Dyatlova N.M., Temkina V.Y., Popov K.I. Complexons and complexonates of metals. M.: Khimiya, 1988. 544 p. (in Russian).

10. Усанова З.И., Смирнова Т.И., Иванютина Н.Н., Павлов М.Н., Булюкина О.А. Увеличение содержания полифруктанов в клубнях топинамбура под влиянием хелатных комплексов микроэлементов // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия. 2017. № 3. С. 139–147.

Usanova Z.I., Smirnova T.I., Ivanyutin N.N., Pavlov M.N., Bulkina O. A. Increase of polyfructan amount in the tubers of Jerusalem artichoke under the influence of chelate complexes of trace elements // Vestnik of Tver state University. Series: Chemistry. 2017. № 3. P. 139–147 (in Russian).

11. Смирнова Т.И., Ромась П.В., Барановский И.Н., Соколов М.А. Изменение содержания пектиновых веществ в каланхоэ в результате обработки соединениями бора // Физико-химия полимеров: синтез, свойства и применение. 2012. № 18. С. 209–211.

Smirnova T.I., Romas P.V., Baranovsky I.N., Sokolov M.A. Changes in the content of pectin substances in Kalanchoe as a result of treatment with boron compounds // Fiziko-khimiya polimerov: sintez, svoystva i primeneniye. 2012. № 18. P. 209–211 (in Russian).

12. Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Оствальд Г.В. Поскребкова А.Г. Влияние бора и цинка на урожайность картофеля сорта Адретта // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 3 (125). С. 40–44.

Spitsyna S.F., Tomarovskiy A.A., Ostwald G.V., Pogrebkov A.G. Effect of boron and zinc on yield of potato varieties Adretta // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. № 3 (125). P. 40–44 (in Russian).

13. Усанова З.И. Методика выполнения научных исследований по растениеводству: учебное пособие Тверь: Тверская ГСХА, 2015. 143 с.

Usanova Z.I. Methods of scientific research on crop production: textbook. Tver: Tverskaya GSKHA, 2015. 143 p. (in Russian).

14. Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. М.: Колос, 1985. 370 с.

Pleshkov B.P. Workshop on plant biochemistry. M.: Kolos, 1985. 370 p. (in Russian).

15. Коренман И.М. Фотометрический анализ. Методы определения органических соединений. М.: Химия, 1975. 360 с.

Korenman I.M. Photometric analysis. Methods for determination of organic compounds. M.: Khimiya, 1975. 360 p. (in Russian).

УДК 630*587.6: 630*266:631.6.02

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ОБУСТРОЙСТВА АГРОЛЕСОЛАНДШАФТОВ

Силова В.А.

ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград, e-mail: viktoriatem@mail.ru

На территории Волгоградской области на нижней Волге по левому берегу Дона проведена оценка состояния территории и полезащитных лесных полос и лесных массивов с применением комплекса ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования. Благодаря ГИС и созданию электронных тематических карт возможно оценить полезащитные, прибалочные лесные полосы и выявить основные формы деградации в ландшафтах региона исследований. Также произвести их картографирование и моделирование при помощи ГИС-технологий. Созданные карты лесоводственно-мелиоративной оценки лесных насаждений, отражают особую ценность оценки анализа лесопригодности земель. Особую роль в реализации поставленной задачи занимают геоинформационные технологии (ГИС-технологии), существенно повышающие точность и достоверность проводимых изысканий. Приведены рекомендации по агролесомелиоративному обустройству исследуемых агролесоландшафтов. Комплексный подход, включающий типовые методики по агролесомелиорации, оценка структуры сельскохозяйственных земель региона исследований доказывает, что территория находится в неблагоприятных почвенно-климатических условиях и является экологически нестабильной. Это влечет за собой развитие негативных деградационных процессов (дефляция, эрозия, вторичное засоление, поднятие уровня грунтовых вод и т.д.), снижение урожаев сельскохозяйственных культур, потери продуктивности пашни. Выполненные ландшафтно-экологические изыскания на территории региона исследований дают возможность установить дешифровочные признаки основных сельскохозяйственных угодий и лесных насаждений. Площадь лесных насаждений региона исследований занимает 12427,6 га, что составляет восьмую часть всей изучаемой территории, в общем находится в неудовлетворительном состоянии и требует использования особого подхода к природопользованию агролесоландшафтах, что позволит стабилизировать свойства, создать экологоустойчивую территорию путем адаптации хозяйственной деятельности.

Ключевые слова: агролесоландшафт, лесные насаждения, лесные полосы, сельскохозяйственные угодья, деградация

GEOINFORMATION ANALYSIS OF AGRO AND FOREST LANDSCAPES

Silova V.A.

Federal Scientific Center for Agroecology of Russian Academy of Sciences, Volgograd, e-mail: viktoriatem@mail.ru

An assessment of the condition of the territory and forest shelter belts and forests using a set of GIS technologies and remote sensing data was carried out in the Volgograd region, on the lower Volga territory along the left bank of the river Don. Due to GIS and the creation of electronic thematic maps, it is possible to assess the protective, logging forest strips and identify the main forms of degradation in the landscapes of the research region as well as to make their mapping and modeling using GIS technologies. The created map of reforestation assessment of forest stands, reflect the special value of the analysis evaluation of land suitability. A special role in the implementation of the task occupy geoinformation technology (GIS technology), significantly increasing the accuracy and reliability of the survey. Recommendations on agroforestry arrangement of the investigated agroecological landscapes are made. A comprehensive approach that includes the typical techniques of agroforestry, assessment of the structure of agricultural land in the region in research proves that the grounds are in unfavorable soil and climatic conditions and is ecologically unstable. This entails the development of negative degradation processes (deflation, erosion, secondary salinization, raising the groundwater level, etc.), reduced crop yields, loss of arable land productivity. The landscape-ecological investigations in the region in study provide an opportunity to establish decoding features of major agricultural land and forest plantations. The area of forest stands in the study is 12427,6 ha, which is 1/8 part of the whole study area and is in poor condition and requires a special approach to environmental management of agro-forest landscapes that will stabilize the properties, create ecologocally sustainable territory by adapting economic activities.

Keywords: agro-forest landscape, forest plantations, forest belt, farmland, degradation

Влияние лесных насаждений заключается в снижении скорости ветрового потока, улучшении микроклимата в агроландшафтах, оптимального распределения снега, замедления его таяния, регулирования стока ливневых и талых вод, лучшего увлажнения, предотвращения смыва почвы для формирования стабильных урожаев сельскохозяйственных культур.

В настоящее время мониторинг в комплексе с ГИС-технологиями применяется для выявления состояния степных ландшафтов. Анализ современного состояния защитных лесных насаждений (ЗЛН), анализ динамики деградационных процессов лесных насаждений являются значительными задачами, выполнение которых создаст условия для устойчивого состояния агролесоландшафтов.

Так, в связи с отсутствием лесоводственных уходов за лесными насаждениями и в результате негативного антропогенного воздействия на агролесоландшафт (выруб-

ки, пожары) в степной, сухостепной и полупустынной зонах сохранность ЗЛН резко снижается [1].

Для сохранения защитных функций лесных экосистем в условиях недостаточного увлажнения необходимо проведение мониторинга состояния агролесоландшафтов с созданием тематических карт их экологического состояния [2].

В связи с чем геоинформационная оценка позволяет создать пространственную базу данных состояния древостоя для обеспечения изучения процессов изменения экологического состояния агролесоландшафтов на исследуемой территории, пребывающих в неустойчивом состоянии, что является важной актуальной научной задачей, а применение геоинформационных технологий позволяет наиболее точно и достоверно проводить оценку степных ландшафтов на левобережье Дона [3].

Территория исследований расположена на левом берегу р. Дон в районе песчаного массива «Голубинские пески». Почвенный покров представлен каштановыми и светло-каштановыми, частично эродированными почвами.

Цель исследования: определение состояния агролесоландшафтов в долине р. Дон, с определением сохранности защитных лесных насаждений на основе аэрокосмических данных.

Материалы и методы исследования

Картографическое геоинформационное обеспечение агролесомелиоративного обустройства ландшафтов в настоящее время становится приоритетом, в том числе и при организации мероприятий по их защите от деградации. Недостаточная эффективность традиционных методов планирования ландшафтов требует разработки локальной географической информационной системы для анализа земель сельскохозяйственного назначения и создания тематических компьютерных картографических моделей.

Определение сохранности лесных насаждений проводилось по ряду кососнимков с покрытием облачностью не более 10%, благодаря географическим программам «QGIS», «ArcGIS», «Global Mapper». Выделение полигонов производилось для оценки состояния лесных насаждений и получения информации, такой как площадь, координаты.

Изучение агролесоландшафтов проводится с использованием геоинформационных технологий и материалов аэро- и космосъемок и основано на результатах их геоморфологического, геоботанического, почвенного и др. обследований.

Исследования базируются на геоинформационном анализе изображения агролесоландшафтов на космоснимках. Методические основы исследований агролесоландшафтов и их компонентов разработаны К.Н. Куликом, А.С. Рулевым, А.С. Козьменко, В.Г. Юферевым, Н.С. Манаенковой, А.Л. Ивановым, А.Т. Барабановым и др. [4].

Методология основана на применении геоинформационного, картографического анализа данных дистанционного зондирования, растровой, векторной и атрибутивной информации.

Анализ ландшафтных объектов; почв, растительности, рельефа – по результатам дешифрирования космических снимков позволяет выявить их современное состояние, а использование географических информационных систем дает возможность определить пространственную структуру как самих ландшафтов, так и пространственное размещение очагов деградации с дифференциацией их по уровням деградированности [5]. Такой подход дает возможность выявить и остановить ход процессов деградации, путем лесомелиорации нарушенных участков.

Для решения поставленной задачи выявления состояния агролесоландшафтов в долине р. Дон, с определением сохранности защитных лесных насаждений использованы геоинформационные программные комплексы, при помощи которых проводится обработка, анализ, визуализация данных, строятся профили местности, создаются тематические карты и т.д.

Картографирование агролесоландшафтов проводилось на базе основных методик по агролесомелиоративному картографированию в области ГИС. Оно включает: 1) предварительное дешифрирование снимков; 2) полевое эталонирование; 3) экстраполяцию дешифровочных признаков; 4) полевой контроль; 5) окончательное дешифрирование и составление карт. Поэтому дешифрирование снимков для составления карт и границ объектов позволяет осуществлять практически непрерывный мониторинг для установления истинного состояния сельскохозяйственных земель.

Таким образом, на основе геоинформационного анализа можно изучить и оценить состояние агроландшафтов и их компонентов, выявить деградационные процессы, идущие на территории исследований, например развитие линейной и плоскостной эро-

зии, истощения почв, ухудшению качества и проективного покрытия растительности.

При анализе изображения выделяется контуром территория, занимаемая лесными насаждениями, полог естественного массива, рядов или полог естественного массива без выпадов.

Методика оценки сохранности защитных лесных насаждений заключается в следующем: на высокоточном космоснимке намечается контур полезащитной полосы или лесного массива. Далее намечаются контуры всех просветов в лесополосе, определяется их площадь, затем оценивается и рассчитывается площадь сохранившегося древостоя.

В зависимости от уровня сохранности насаждений: высокой, средней, низкой, очень низкой определена шкала: 80,1–100,0; 70,1–80,0; 50,1–70,0 %; менее 50,0 % – соответственно и имеют характерные степени деградации: «норма», «риск», «кризис», «бедствие».

Результаты исследования и их обсуждение

Основная часть исследуемой территории представлена сельскохозяйственными угодьями и песками, ввиду этого при геоинформационном анализе космоснимков анализировали структуру пахотных угодий, лесных массивов и лесных полос. При оценке рассматривался гранулометрический состав почв, рельеф, а также степень сельскохозяйственного освоения.

Оценка и картографирование современного состояния агролесоландшафтов были проведены по цифровой модели ландшафта, представляющих собой совокупность растровых, векторных слоев, атрибутов и цифровой модели местности на основе данных SRTM3 [6].

Для оценки состояния защитных лесных насаждений на территории исследования была разработана локальная ГИС и составлены векторные геоинформационные картографические слои пространственного размещения лесных полос и лесных массивов на основе растровых космоснимков спутника WorldView3 (рис. 1). При анализе состояния защитных лесных насаждений (лесных полос и массивов) на территории исследований в программе QGIS 6.8 установлен уровень деградации каждого насаждения [7].

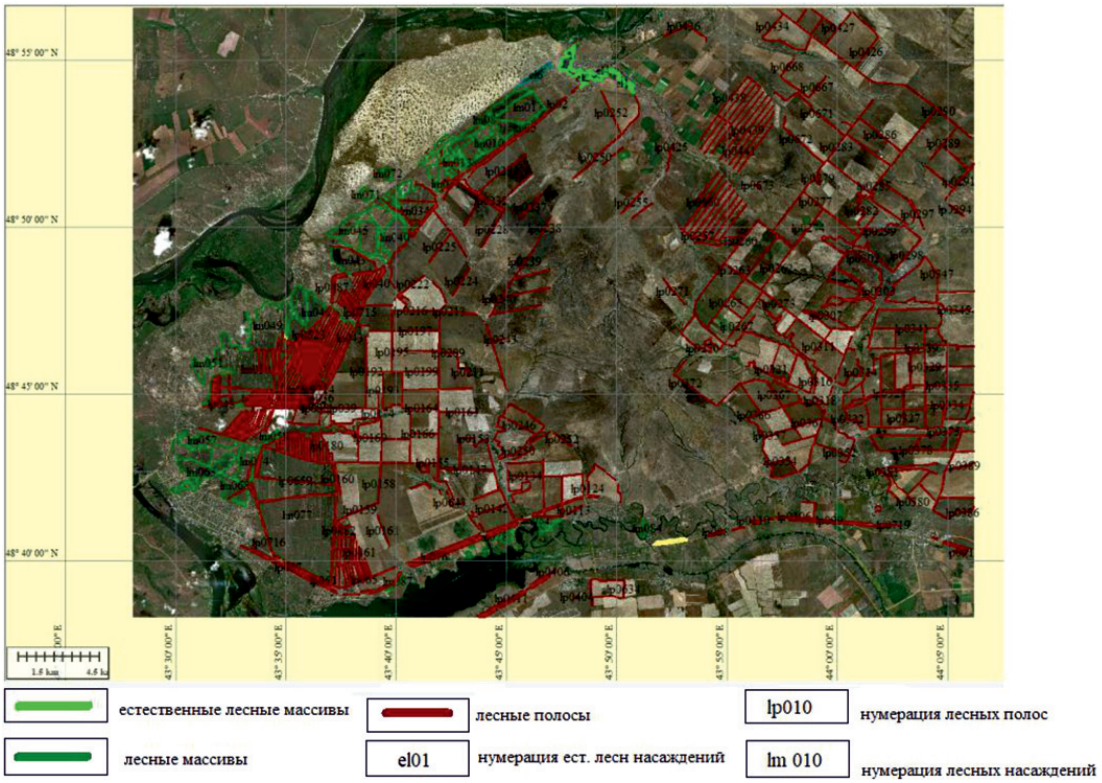


Рис. 1. Карта защитных лесных насаждений

Анализ модели агролесоландшафта показал, что все насаждения разделены на две условные части при этом общая лесистость территории исследований составляет 7,8%. Полностью отсутствуют в центральной части ландшафтного района защитные лесные полосы и пашня, в виду расчлененности территории балками: Песковатка, Сокарева, Водяная, Байрак, Парневая, Каренная, Колодезная, Матвеева.

Площадь 108 лесных массивов составляет 9650,42 га и их расположение обосновывается закреплением Голубинских песков и защиты сельскохозяйственных угодий. На основе ЦМР полигона исследований проведена оценка сохранности лесных массивов, выявлены их площади и проведено распределение по уровням деградации. Установлено, что 75 массивов площадью 7782,2 га (80,1% площади всех массивов) находится в бедственном положении и еще 19 массивов площадью 745,2 га (7,7%) с уровнем деградации «кризис», не выполняют своих защитных функций, так как сохранность очень низкая. Оставшиеся 11 лесных массивов площадью 1074,4 га (11,1%) имеют сохранность на уровне «норма», а 3 массива площадью 46,8 га (0,1%) на уровне «риск» (рис. 2).

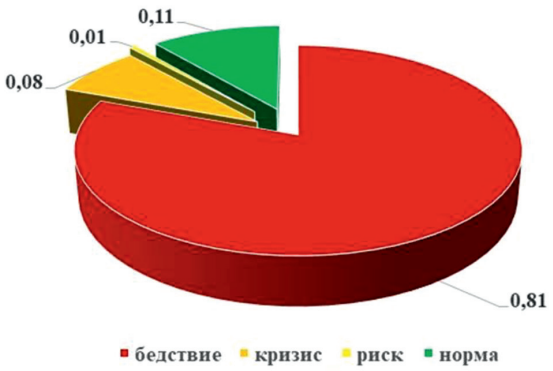


Рис. 2. Структура сохранности лесных насаждений

Исследование сохранности и пространственного расположения лесных полос показывает, что их современное состояние – неудовлетворительное. Можно отметить, что на территории исследований общей площадью 155,921 тыс. га 104 лесных полос площадью 1262,2 га (46%) полностью распались (уровень «бедствие»), 79 лесных полосы общей площадью 811,3 га (29%) имеют сохранность на уровне «кризис», что в целом составляет 75% всей площади лесных полос. На этих участках требуется выполнение мероприятий по их реконструкции.

В нормальном состоянии находятся 289 лесные полосы площадью 341,5 га, что составляет 12% от общей площади полос, а 155 лесные полосы площадью 362,29 га (13%) на уровне «риск» (рис. 3).

Рис. 3. Структура сохранности лесных полос

Таким образом, проведенный анализ геоинформационной оценки полезащитных лесных полос, лесных массивов, эрозионно-ландшафтной структуры отражают нестабильно устойчивую ландшафтную организацию территорий.

Оценка космоснимков агролесоландшафтов дает возможность предполагать развитие почвенных процессов и предположить возможные основания деградационных процессов, увеличения залежных земель, ухудшения состояний ландшафтов.

Компьютерное моделирование, дешифрирование природно-антропогенных единиц, сбор, обработка данных в геоинформационных технологиях позволяет расширить границы изучения пространства, это позволяет новым ступеням изучения и анализа агролесоландшафтов.

Выводы

Использование современных геоинформационных систем, вместе с актуальными космическими снимками исследуемого полигона, дает возможность формирования цифровой модели элементов агроландшафта, провести анализ состояния агролесоландшафтов и сохранности лесных насаждений. Благодаря оценке ландшафтов на основании методов геоинформационного моделирования возможно предположить дальнейший сценарий ситуации сельскохозяйственной организации на территории:

1. Подготовленные геоинформационные картографические слои элементов ландшафта на основе геоинформационных программ дали возможность создать и провести дистанционную оценку и моделирование сохранности лесных насаждений на базе аэрокосмоснимков и прогнозировать сохранность лесных насаждений.

2. Динамика деградационных процессов сохранности лесных полос и лесных массивов агролесоландшафтов нижней Волги по левому берегу Дона отражает ухудшение их состояния.

3. Исходя из проведенного анализа, сохранность лесных насаждений уменьшается и находится на уровне «Кризис» и «Бедствие».

4. Моделирование, картографирование, геоинформационная оценка сельскохозяйственных угодий показали ухудшение положения ситуации в целом, увеличение площади зарастания пашни древесно-кустарниковой растительностью.

5. Проведенный анализ показывает, что дистанционные методы исследований имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными наземными изысканиями, требующими значительных капитальных и материальных вложений.

6. При решении глобальных проблем в системе восстановления деградированных земель оценивают показатели антропогенной деградации и нарушенности территории агролесоландшафтов.

7. Так, рассмотрение почвозащитных комплексов в конкретных хозяйствах и ландшафтах с применением лесомелиоративных мероприятий свидетельствует о том, что при борьбе с эрозией важно учитывать все факторы, начиная от почвенно-климатических, заканчивая агроприемами возделывания сельскохозяйственных угодий и лесных насаждений. Противоэрозионная и агроэкологическая эффективность лесных полос лучше всего проявляется при создании законченной системы, влияние которой будет распространяться на всю площадь.

Поэтому для устойчивого состояния агролесоландшафтов, который должен быть внутренне разнообразным, гибко организованным, чтобы способствовать снижению темпов процесса деградации, восстановления нарушенной среды, необходимо эколого-лесомелиоративное обустройство ландшафтов.

Список литературы / References

1. Кулик К.Н. Развитие агролесомелиоративной науки в России // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 3 (35). С. 12–19.

Kulik K.N. Development of agroforestry science in Russia // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye. 2014. № 3 (35). P. 12–19 (in Russian).

2. Шульга В.Д., Обельцев С.В., Шульга Д.В. Особенности степного лесоводства. Волгоград: ВолГУ, 2010. 396 с.

Shulga V.D., Obeltsev S.V., Shulga D.V. Features of steppe forestry. Volgograd: VolGU, 2010. 396 p. (in Russian).

3. Кулик К.Н. Аэрокосмический мониторинг водной и ветровой эрозии // Восстановление и использование эродированных земель: сборник лекций. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1998. С. 157–169.

Kulik K.N. Aerospace monitoring of water and wind erosion // Restoration and use of eroded lands: collection of lectures. Volgograd: VNIALMI, 1998. P. 157–169 (in Russian).

4. Иванов А.Л., Кулик К.Н., Барабанов А.Т. Система адаптивно-ландшафтного земледелия Волгоградской области на период до 2015 года. Волгоград: ИПК ВГСХА «Нива», 2009. 304 с.

Ivanov A.L., Kulik K.N., Barabanov A.T. The system of adaptive landscape agriculture of the Volgograd region for the period up to 2015. Volgograd: IPK VGSHA «Niva», 2009. 304 p. (in Russian).

5. Юферев В.Г., Кулик К.Н., Рулев А.С. Геоинформационные технологии в агролесомелиорации. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2010. 102 с.

Yuferev V.G., Kulik K.N., Rulev A.S. Geoinformation technologies in agroforestry. Volgograd: VNIALMI, 2010. 102 p. (in Russian).

6. Радарная интерферометрическая съемка поверхности земного шара [Электронный ресурс]. URL: https://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/Eurasia (дата обращения: 02.09.2019).

Radar interferometric imaging of the surface of the globe [Electronic resource]. URL: https://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/Eurasia (date of access: 02.09.2019) (in Russian).

7. Свободная географическая информационная система с открытым кодом [Электронный ресурс]. URL: https://qgis.org/ru/site/index.html (дата обращения: 02.09.2019).

Free geographic information system with open source [Electronic resource]. URL: https://qgis.org/en/site/index.html (date of access: 02.09.2019) (in Russian).

УДК 630*431.2(571.15)

ПОКАЗАТЕЛИ ФАКТИЧЕСКОЙ ГОРИМОСТИ ЛЕНТОЧНЫХ БОРОВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Шубин Д.А., Залесова Е.С., Толстиков А.Ю.

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

Проанализированы показатели фактической горимости ленточных боров Алтайского края за период с 1950 по 2018 г. Установлено, что классы природной пожарной опасности лесов Алтайского края варьируются от 1,5 в Ключевском и Озеро-Кузнецовском до 3,9 в Знаменском лесничествах при среднем классе 2,7. На долю насаждений первого класса природной пожарной опасности приходится 35,7%, а на долю второго – 14,4% общей площади лесного фонда. Четкой периодичности, как по количеству лесных пожаров, так и по пройденной ими площади за 68-летний период, не прослеживается. Максимальное количество лесных пожаров – 1888 шт. зафиксировано в 1977 г. На тот же год приходится максимальная пройденная огнем площадь – 69564 га. Анализ горимости лесов по пятилетиям показал, что наибольшими показателями фактической горимости характеризуется период с 1995 по 1999 г. Об эффективности борьбы с лесными пожарами свидетельствует тот факт, что максимальная площадь среднего пожара – 42,14 га зафиксирована за период с 1950 по 1954 г., когда произошло 786 шт. лесных пожаров, в то время как даже за период с 1995 по 1999 г., когда количество лесных пожаров составило 4883 шт., средняя площадь пожара не превышена 17,14 га. Максимальное количество лесных пожаров за период с 1950 по 2018 г. зафиксировано в Барнаульском (6505 шт.), а минимальное – в Знаменском лесничестве (288 шт.). Однако средняя площадь лесного пожара за указанный период в Барнаульском лесничестве не превышала 0,12 га при максимальной средней площади пожара в Ключевском лесничестве – 22,88 га. Данные о фактической горимости лесов могут быть использованы при проектировании противопожарных, лесохозяйственных и лесокультурных мероприятий в ленточных борах Алтайского края.

Ключевые слова: Алтайский край, ленточные боры, лесной пожар, класс природной пожарной опасности, горимость, частота пожаров

ACTUAL BURNING INDEX (FIRE COAD INDEX) OF STRIPE PINE FOREST IN ALTAY REGION

Shubin D.A., Zalesova E.S., Tolstikov A.Yu.

Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, e-mail: rector@usfeu.ru

The article studies actual burning index of stripe forests of Altay region over the period from 1950 to 2018. It was established that classes of natural fire hazard among forests of Altay region vary from 1,5 in Klyuchevskoy and Ozero-Kuznetsovskiy forestries to 3,9 in Znamenskiy forestry and forms an average of 2,7. 35,7% of all standings belong to natural fire hazard class 1, and 14,4% – to class 2. No clear periodic nature in terms of number of forest fires or their areas over the period of 68 years has been established. Maximum number of forest fires was registered in 1977 and equaled 1888. The greatest burned area was also registered in that year and equaled 69564 ha. Analysis of forest burning index showed us that the greatest indexes of actual burning rate was registered over the period from 1995 to 1999. Efficiency of fighting fires is shown by the fact that maximum area of average fire – 42,12 ha was registered during period from 1950 to 1954 when 786 fires broke, whilst during the period from 1995 to 1999 when 4883 fires happened, average burning area did not exceed 17,14 ha. Maxumum number of fires over the period from 1950 to 2018 was registered in Barnaulskoye forestry – 6505, and minimal – in Znamenskoye forestry – 288. However, average area of fire over the mentioned period in Barnaul forestry did not exceed 0,12 ha, while maximum average burning area in Klyuchevskoye forestry equaled 22,88 ha. The data of actual forest burning rate can be used in development of fire-preventing, forestry, and forestry-cultural measures in stripe forests of Altay region.

Keywords: Altay region, stripe pine forest, wild fire, natural fire hazard class, combustibility, fire frequency

Общеизвестно, что лесные пожары являются определяющим фактором формирования ландшафтов в условиях таежной зоны. Не случайно в научной литературе имеется большое количество работ по повышению пожароустойчивости насаждений [1–3], лесопожарному районированию [4, 5], влиянию лесных пожаров на компоненты насаждений и особенно на древостой [6, 7]. Особое внимание в научных публикациях уделяется совершенствованию тушения лесных пожаров [8, 9], противопожарному устройству [10, 11] и защите населенных пунктов от природных пожаров [12, 13].

В то же время разработка эффективной системы охраны лесов от пожаров невозможна без детального анализа показателей фактической горимости лесов за длительный период, поскольку данные за короткий период часто субъективны и не в полной мере характеризуют динамику горимости лесов.

Не являются в этом плане исключением и ленточные боры Алтайского края. В рабо-

тах, посвященных проблеме совершенствования охраны лесов от пожаров, как правило, рассматриваются частные вопросы без должного анализа горимости лесов [14]. Последнее предопределило направление наших исследований.

Цель исследования: анализ фактической горимости лесов ленточных боров Алтайского края и разработка на этой основе предложений по совершенствованию охраны лесов.

Материалы и методы исследования

Объектами исследований служили ленточные боры Алтайского края. Район указанных боров характеризуется резко континентальным климатом с жарким летом и холодной зимой. Максимальная температура в июне и июле составляет 30 °С при среднегодовом количестве осадков от 231 до 450 мм с увеличением с запада на восток. На открытой поверхности почвы температура достигает 64 °С [14], что способствует высыханию горючих материалов и быстрому распространению пожаров.

Возникновению и распространению лесных пожаров способствует, помимо малого количества осадков, низкая относительная влажность воздуха, суховеи, сильные ветры, сухие грозы, степные пожары.

В процессе выполнения работы были проанализированы показатели фактической горимости лесов Алтайского края за период с 1950 по 2018 г. В качестве основы для анализа горимости лесов были использованы статистические материалы 15 лесничеств, а также протоколы лесных пожаров и материалы натурных обследований.

При оценке фактической горимости лесов были использованы показатели относительной горимости лесов и плотности лесных пожаров [15].

Результаты исследования и их обсуждение

Материалы исследований показали, что ленточные боры характеризуются высокими классами природной пожарной опасности (табл. 1).

Материалы табл. 1 свидетельствуют, что при среднем классе природной пожарной опасности 2,7 более половины всей площади лесного фонда относится к 1 и 2 классам. При этом природная потенциальная горимость лесов существенно различается по лесничествам. Если в Ключевском и Озеро-Кузнецовском лесничествах средний класс природной пожарной опасности 1,5, то в Знаменском – 3,9.

Таблица 1

Распределение площади ленточных боров Алтайского края по лесничествам и классам природной пожарной опасности, га

Наименование лесничества	Класс пожарной опасности					Итого	Средний класс
	1	2	3	4	5		
Баевское	2754	5775	8396	55803	3233	75961	3,7
Барнаульское	12673	11216	656	1511	–	26056	1,7
Волчихинское	44442	31281	4014	34130	14845	128712	2,6
Знаменское	1355	163	1862	39663	1139	44182	3,9
Ключевское	64837	13398	3236	206	4747	88234	1,5
Кулундинское	7041	19778	15216	30434	14184	86653	3,3
Лебяжинское	47107	15588	3554	5016	15492	86757	2,1
Новочихинское	13984	15107	4740	32758	44598	111187	3,7
Озеро-Кузнецовское	146224	31703	3656	14413	3911	199907	1,5
Павловское	24233	5374	18512	17109	9400	74628	2,8
Панкрушихинское	4904,9	4904,9	60038,9	28226,5	13118,3	111193,5	3,3
Ракитовское	56204,7	13527,4	1747,6	129203,7	10636,6	95037	2
Ребрихинское	1996	15715	18966	10456	14402	61535	3,3
Степно-Михайловское	52249	8254	25510	18357	9448	113818	2,3
Шипуновское	3201	2734	1825	36771	174	44702	3,6
Всего	483205,6	194518,3	171929,5	339584,2	159327,9	1353057	2,7
%	35,7	14,4	12,7	25,1	11,8	100	

Лесничества края различаются не только значениями средних классов природной пожарной опасности, но и долей насаждений первого и второго классов с очень высокой опасностью возникновения и быстрого распространения лесных пожаров. Так, в частности, на долю насаждений указанных классов в Барнаульском лесничестве приходится 91,68% площади. При этом насаждений пятого класса, которые в обычные годы могут по причине низкой горимости быть противопожарными барьерами, в указанном лесничестве просто нет.

Четкой зависимости как количества, так и площади лесных пожаров по годам за 68-летний период не прослеживается. При этом максимальное количество лесных пожаров зафиксировано в 1997, 1999 и 2003 гг. когда их было 1888, 1247 и 957 шт. соответственно. В 1997, 1951 и 1999 гг. была зафиксирована максимальная пройденная огнем площадь 69564, 30369 и 13486 га соответственно.

Отсутствие четкой периодичности в повторяемости пожароопасных лет вызывает необходимость систематического поддержания высокой готовности к борьбе с огнем всех служб, связанных с охраной лесов от пожаров. Другими словами, возникает необходимость в выделении значительных трудовых и финансовых ресурсов на каждый пожароопасный период ежегодно. Ослабление внимания к охране лесов вызывает негативные последствия, то есть снижение эффективности охраны лесов от пожаров. Кроме того, что необходимо держать в «боевой» готовности лесопожарную технику и средства обнаружения лесных пожаров, требуется систематическая тренировка лиц непосредственно участвующих в тушении, что также требует дополнительных затрат.

Традиционно на территории ленточных боров Алтайского края велась активная борьба с лесными пожарами. В пользу последнего вывода свидетельствуют следующие данные. За 68 лет анализируемого периода количество лесных пожаров за пожароопасный период превышало 200 шт. 35 раз. То есть 35 лет в лесном фонде ленточных боров было зафиксировано более 200 пожаров, 22 года количество пожаров превышало 400 случаев, 12 лет – 600 случаев, 3 года – 800 случаев и 2 года 1000 случаев. При этом пройденная огнем площадь в течение пожароопасного периода превышала 1500 га лишь 9 раз, 2000 га – 7 раз, 2500 га – 5 раз.

Более наглядную картину о горимости лесов позволяют получить данные, приведенные по 5-летним периодам (табл. 2).

Таблица 2

Показатели фактической горимости лесов ленточных боров Алтая по 5-летним периодам

Периоды	Число лесных пожаров, шт.	Пройденная огнем площадь, га	Средняя площадь одного пожара, га	Удельная горимость, %	Частота пожаров шт/100 тыс.га	Среднегодовое количество пожаров, шт.
1950–1954	786	33118,58	42,14	0,489	11,6	157,2
1955–1959	573	2747,94	4,80	0,041	8,5	114,6
1960–1064	490	458,27	0,94	0,007	7,2	98
1965–1969	520	316,49	0,6	0,005	7,7	104
1970–1974	1131	2594,69	2,29	0,038	16,7	226,2
1975–1979	847	430,15	0,51	0,006	12,5	169,4
1980–1984	1778	2215,01	1,25	0,033	263,3	355,6
1985–1989	1233	1290,6	1,05	01,019	18,2	246,6
1990–1994	1674	855,7	0,51	0,013	24,7	334,8
1995–1999	4883	83709,3	17,14	1,237	752,2	976,6
2000–2004	3328	10310,34	3,10	0,152	49,2	665,6
2005–2009	2862	3842,5	1,34	0,057	42,3	572,4
2010–2014	1933	15826	8,9	0,234	28,6	386,6
2015–2018	685	420,81	0,61	0,008	12,7	171,25
Итого за 1950–1994 гг.	9032	44027,43	4,87	0,072	14,8	200,7
Итого за 1995–2010 гг.	22723	158136,38	8,33	0,351	42,2	570,5

Из данных табл. 2 следует, что горимость ленточных боров Алтайского края, как по количеству пожаров, так и по пройденной огнем площади, резко увеличилась с 1995 г. В какой то мере последнее можно объяснить субъективными факторами: изменением экономической ситуации в стране и недостаточном вниманием к охране лесов от пожаров. Однако помимо субъективных есть и объективные факторы, в частности изменение климата и засухи 1997, 1999 и 2010 гг.

Как положительный показатель следует отметить повышение эффективности тушения лесных пожаров даже при увеличении их количества. Так, несмотря на тот факт, что за период с 1995 по 1999 г. возникло 4883 лесных пожара, средняя площадь пожара составила 17,14 га. В то же время при количестве лесных пожаров за период с 1950 по 1954 г. – 785 шт, средняя площадь лесного пожара составила 42,14 га.

Лесничества Алтайского края характеризуются различной горимостью (табл. 3), что связано не только с различиями природной пожарной опасности, но и с эффективностью работы лесопожарных служб. Лидером по количеству лесных пожаров за период с 1950 по 2018 г. является Барнаульское лесничество, на территории которого зафиксировано 6505 лесных пожаров. Об эффективной охране лесов в этом лесничестве свидетельствует тот факт, что средняя площадь пожара за 68-летний период составила 0,12 га. При этом количество лесных пожаров за тот же период в Ключевском лесничестве было в 5,3 раза меньше (1226 шт.), а площадь среднего лесного пожара в 224 раза (26,88 га) больше, чем в Барнаульском лесничестве.

Минимальной природной пожарной опасностью характеризуется Знаменское лесничество, где класс природной пожарной опасности 3,9. За период с 1950 по 2018 г. на территории лесничества возникло лишь 288 лесных пожаров при из частоте 9,5 шт /100 тыс. га. Однако средняя площадь пожара в данном лесничестве составляет 1,16 га, а общая пройденная огнем площадь – 622,92 га, что лишь в 1,24 раза превышает аналогичный показатель в Барнаульском лесничестве, где частота пожаров 362,6 шт / 100 тыс. га.

Учитывая чрезвычайно высокие показатели горимости лесов, особенно по количеству лесных пожаров, необходимо усилить противопожарную пропаганду среди населения. Кроме того, в связи с большим количеством лесных пожаров от сухих гроз в ленточных борах [9] необходимо устанавливать грозопеленгаторы и организовывать авиапатрулирование после прохождения грозовых фронтов с целью оперативного тушения возникших в результате удара молнии лесных пожаров.

Таблица 3

Показатели фактической горимости ленточных боров Алтайского края с 1950 по 2918 г. по лесничествам

Наименование лесничества	Количество пожаров, шт.	Площадь, пройденная пожарами, га	Средняя площадь одного пожара, га	Удельная горимость, %	Частота пожаров, шт/100 тыс. га
Баевское	569	1149,44	2,02	0,0218	10,8
Барнаульское	6505	773,47	0,12	0,0508	362,6
Волчихинское	1529	5283,67	3,46	0,0595	17,2
Знаменское	288	622,92	2,16	0,0204	9,5
Ключевское	1226	32958,81	26,88	0,5411	20,1
Кулундинское	988	2596,54	2,63	0,0436	16,6
Лебяжинское	1202	12212,73	10,16	0,2040	20,1
Новочихинское	1000	1389,77	1,39	0,0181	13,1
Озеро-Кузнецовское	2425	62445,068	25,75	0,4533	17,6
Павловское	1400	658,08	0,47	0,0127	27,1
Панкрушихинское	1337	2004,08	1,50	0,0251	16,7
Ракитовское	925	20311,395	21,96	0,3097	14,1
Ребрихинское	1337	5812,04	4,35	0,1369	31,5
Степно-Михайловское	1599	9794,45	6,13	0,1247	20,4
Шипуновское	393	123,92	0,32	0,0040	12,7
Итого	22723	158136,38	6,96	0,169	24,3

Для ленточных боров Алтая необходима разработка региональных рекомендаций по противопожарному устройству и оснащению служб пожаротушения лесопожарной техникой и инвентарем. В целях недопущения лесных пожаров на территорию населенных пунктов необходимо для каждого из них составить и реализовать проект противопожарного обустройства. Кроме того, в каждом населенном пункте следует организовать добровольные пожарные дружины с обязательным обучением членов дружин способам тушения лесных пожаров.

Требования обеспечения повышения устойчивости насаждений против огня должны учитываться при проектировании и проведении всех лесохозяйственных и лесокультурных мероприятий. Кроме того, значения показателей классов природной пожарной опасности по лесничествам должны учитываться при выделении финансирования на проведение лесопожарных мероприятий.

Об эффективности охраны лесов от пожаров можно судить, имея данные о средней площади пожара. Если последняя минимальна, то, соответственно, лесные пожары на охраняемой территории своевременно обнаруживаются и эффективно ликвидируются. Материалы табл. 3 свидетельствуют, что помимо Барнаульского лесничества эффективно ведется охрана лесов от пожаров на территории Шипуновского, Пантрушихинского, Знаменского и Баевского лесничеств, где средняя площадь лесных пожаров за период с 1950 по 2018 г. менее 2,5 га.

Наименее эффективно осуществлялась охрана лесов от пожаров в Ключевском, Озеро-Кузнецовском и Ракитовском лесничествах, где средняя площадь лесного пожара за вышеуказанный период превышала 20 га.

Выводы

1. Ленточные боры Алтайского края характеризуются высокой природной пожарной опасностью. Средний класс природной пожарной опасности 2,7.

2. Значительным показателям фактической горимости ленточных боров способствуют высокие температуры в весенне-летний период, недостаток осадков, низкая относительная влажность воздуха, суховеи и сухие грозы.

3. Наиболее пожароопасными за период с 1950 по 2018 г. являлись 1997, 1999 и 2003 г., когда возникло 1888, 1247 и 957 шт. лесных пожаров соответственно.

4. Максимальные пройденные огнем площади были зафиксированы в 1997, 1951 и 1998 гг. – 69564, 30369 и 13486 га соответственно.

5. Четкой периодичности в количестве лесных пожаров и пройденной ими площади за анализируемый период не зафиксировано. Однако показатели горимости за период с 1995 по 2018 г. значительно превышают таковые за период с 1950 по 1994 г.

6. Эффективность служб пожаротушения в лесничествах края существенно различается. Так, в частности, Барнаульское лесничество, характеризующееся максимальной частотой пожаров, имеет минимальную среднюю площадь одного пожара.

7. Учитывая высокую природную пожарную опасность ленточных боров Алтайского края, мероприятиям по повышению пожароустойчивости лесов следует уделять первостепенное внимание при всех видах лесохозяйственных и лесокультурных работ.

Список литературы / References

1. Шубин Д.А., Залесов С.В. Послепожарный отпад деревьев в сосновых насаждениях Приобского водоохранного сосново-березового лесохозяйственного района Алтайского края // Аграрный вестник Урала. 2013. № 5. С. 39–41.

Shubin D.A., Zalesov S.V. Post-fire tree attrition in pine plantations, in the Ob water protection pine-birch forest area of the Altai region // Agrarian Bulletin of the Urals. 2013. № 5. P. 39–41 (in Russian).

2. Залесов С.В., Данчева А.В., Муканов Б.М., Эбель А.В., Эбель Е.И. Роль рубок ухода в повышении пожароустойчивости сосняков Казахского мелкосопочника // Аграрный вестник Урала. 2013. № 6. С. 64–67.

Zalesov S.V., Dancheva A.V., Mukanov B.M., Ebel A.V., Ebel E.I. The role of improvement felling in improving the fire resistance of pine forests of Kazakh Upland // Agrarian Bulletin of the Urals. 2013. № 6. P. 64–68 (in Russian).

3. Данчева А.В., Залесов С.В. Влияние рубок ухода на биологическую и пожарную устойчивость сосновых древостоев // Аграрный вестник Урала. 2016. № 3. С. 56–61.

Dancheva A.V., Zalesov S.V. Effect of thinning on biological and fire resistance of pine stands // Agrarian Bulletin of the Urals. 2016. № 3. P. 56–61 (in Russian).

4. Залесов С.В., Годовалов Г.А., Платонов Е.Ю. Уточненная шкала распределения участков лесного фонда по классам природной пожарной опасности // Аграрный вестник Урала. 2013. № 10. С. 45–49.

Zalesov S.V., Godovalov G.A., Platonov E.Ju. Clarified scale for distribution of forest fund blocks according the wildfire hazard classes // Agrarian Bulletin of the Urals. 2013. № 10. P. 45–49 (in Russian).

5. Ольховка И.Э., Залесов С.В. Лесопожарное районирование лесов Курганской области и рекомендации по противопожарному обустройству // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. [Электронный ресурс]. URL: www.science-education.ru/111-10262. (дата обращения: 02.08.2019).

Olkhovka I.E., Zalesov S.V. forest Fire zoning of forests of the Kurgan region and recommendations for fire-fighting arrangement // Modern problems of science and education. 2013. № 5. [Electronic resource]. URL: www.science-education.ru/111-10262 (date of access: 02.08.2019) (in Russian).

6. Шубин Д.А., Залесов С.В. Последствия лесных пожаров в сосняках Приобского водоохранного сосново-березового лесохозяйственного района Алтайского края. Екатеринбург, 2016. 127 с.

Shubin D.A., Zalesov S.V. Consequences of forest fires in the pine forests of Priobskoye water protection pine-birch forest area of the Altai territory. Yekaterinburg, 2016. 127 p. (in Russian).

7. Шубин Д.А., Малиновских А.А., Залесов С.В. Влияние пожаров на компоненты лесного биогеоценоза в Верхне-Обском боровом массиве // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 6. С. 205–208.

Shubin D.A., Malinovsky A.A., Zalesov S.V. Influence of fires on the components of forest biogeocenosis in the Verkhne-Obsk pine wood stand // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. № 6. P. 205–208 (in Russian).

8. Залесов С.В., Миронов М.П. Обнаружение и тушение лесных пожаров. Екатеринбург, 2004. 138 с.

Zalesov S.V., Mironov M.P. Detection and extinguishing of forest fires. Yekaterinburg, 2004. 138 p. (in Russian).

9. Марченко В.П., Залесов С.В. Горимость ленточных боров Прииртышья и пути ее минимизации и на примере ГУ ГЛПР «Ертыс орманы» // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 10. С. 55–59.

Marchenko V.P., Zalesov S.V. Fire occurrence in belt pine forests of the Irtysh river area (Priirtyshye) and its minimization (the case study of the state forest natural reserve «Ertys ormany») // Bulletin of Altai state agrarian University. 2013. № 10. P. 55–59 (in Russian).

10. Залесов С.В., Залесова Е.С., Оплетаев А.С. Рекомендации по совершенствованию охраны лесов от пожаров в ленточных борах Прииртышья. Екатеринбург, 2014. 67 с.

Zalesov S.V., Zalesova E.S., Opletaev A.S. Recommendations for improving the protection of forests from fires in the belt forests of the Irtysh region. Yekaterinburg, 2014. 67 p. (in Russian).

11. Залесов С.В., Магасумова А.Г., Новоселова Н.Н. Организация противопожарного устройства насаждений, формирующихся на бывших сельскохозяйственных угодьях// Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2010. № 4. С. 60–63.

Zalesov S.V., Magsumova A.G., Novoselov N.N. Organisation fire fighting equipment spaces, formed on former agricultural lands // Bulletin of Altai state agrarian University. 2010. № 4. P. 60–63 (in Russian).

12. Залесов С.В., Годовалов Г.А. Кректунов А.А., Платонов Е.Ю. Защита населенных пунктов от природных пожаров // Аграрный вестник Урала 2013. № 2. С. 34–36.

Zalesov S.V., Godovalov G.A., Krachunov A.A., Platonov E.Y. Protection of inhabited localities against natural fires // Agrarian Bulletin of the Urals. 2013. № 2. P. 34–36 (in Russian).

13. Кректунов А.А., Залесов С.В. Охрана населенных пунктов от природных пожаров. Екатеринбург, 2018. 162 с.

Krachunov A.A., Zalesov S.V. Protection of settlements from wildfires. Yekaterinburg, 2018. 162 p. (in Russian).

14. Черных В.А., Фуряев В.В. Лесные пожары в ленточных борах Кулундинской степи. Новосибирск: Наука, 2011. 176 с.

Chernykh V.A., Furyaev V.V. Forest fires in belt forests of Kulunda steppe. Novosibirsk: Nauka, 2011. 176 p. (in Russian).

15. Залесов С.В., Залесова Е.С. Лесная пирология. Термины, понятия, определения: Учебный справочник. Екатеринбург, 2014. 54 с.

Zalesov S.V., Zalesova E.S. Forestry fire science. Terms, concepts, definitions: Educational guide. Yekaterinburg, 2014. 54 p. (in Russian).

СТАТЬИ

УДК 553.981:553.982(571.1)

УТОЧНЕНИЕ ПАЛЕОТЕКТОНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ В МЕЗОЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКОЕ ВРЕМЯ

[1]Воробьев С.В., [2]Горбунов П.А., [1]Максименко О.В., [2]Бембель С.Р.

[1]ООО «Газпром геологоразведка», Тюмень, e-mail: s.vorobyev@ggr.gazprom.ru;
[2]ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: razpas@mail.ru

В данной работе представлены результаты палеотектонических реконструкций развития северной части Западно-Сибирской плиты, которая в административном плане соответствует территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Палеотектонические исследования охватывают временной интервал мезо-кайнозойского времени. Проведенные авторами палеоисследования выполнялись по методике изопахического треугольника, основанного на анализе толщин осадков, накапливаемых в различные интервалы геологического времени. В качестве опорных поверхностей, используемых для построения региональных палеотектонических карт масштаба 1:500 000, рассматривались основные отражающие горизонты, выделяемые по материалам сейсмических исследований в мезозойско-кайнозойской части осадочного чехла. При картопостроении использовался значительный объем данных сейсморазведки МОГТ 2D и 3D, а также данные поискового, разведочного и параметрического бурения. На основании полученного картографического материала было выполнено выделение наиболее крупных форм палеорельефа, существовавших в мезо-кайнозойское время в пределах севера Западной Сибири. Прослеживание истории эволюции данных структур (изменения их форм, размеров и амплитуд) позволило оценить основные аспекты тектонической эволюции изучаемой территории в течение юрского, неокомского, аптского, альб-сеноманского, турон-кампанского и кайнозойского периодов геологического времени. В ходе работы был установлен факт, что в мезокайнозойское время исследуемая территория развивалась не унаследованно и разнонаправленно, т.е. испытывала чередующиеся смены знаков вертикальных тектонических движений, просматриваемых в региональном масштабе. Полученные результаты подтверждают выводы предшествующих исследователей об инверсионном характере тектонического развития территории. Уточнены положение, размеры и морфология подобных зон, рассматриваемых в качестве объектов, перспективных для локализации залежей УВ.

Ключевые слова: Западная Сибирь, Ямало-Ненецкий автономный округ, палеотектонический анализ, осадочный комплекс

PALOTECTONIC DEVELOPMENT SPECIFICATION OF THE NORTHERN PART OF THE WEST-SIBERIAN PLATE IN THE MESOZOIC-CENOZOIC TIME

[1]Vorobev S.V., [2]Gorbunov P.A., [1]Maksimenko O.V., [2]Bembel S.R.

[1]OOO «Gazprom Geologorazvedka», Tyumen, e-mail: s.vorobyev@ggr.gazprom.ru;
[2]Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: razpas@mail.ru

This paper presents the results of paleotectonic reconstructions of the development of the northern part of the West Siberian Plate, which administratively corresponds to the territory of the Yamal-Nenets Autonomous District. Paleotectonic studies cover the time interval of the Meso-Cenozoic time. The paleoinvestigations were carried out according to the method of the isopachic triangle of V.B. Neyman, which is based on the analysis of thicknesses of sediments accumulated at different intervals of geological time. In order to create paleotectonics maps authors used structure maps (scale 1: 500,000) of the main reflecting horizons identified by seismic studies in the Mesozoic-Cenozoic part of the sedimentary cover. When mapping, a significant amount of MOGT 2D and 3D seismic data was used, as well as data from prospecting, exploration and parametric drilling. Based on the obtained cartographic material, the largest forms of paleorelief that existed during the Meso-Cenozoic time within the north of Western Siberia were identified. Tracking the evolution history of these structures (changes in their shapes, sizes and amplitudes) made it possible to evaluate the main aspects of the tectonic evolution of the study area during the Jurassic, Neocomian, Aptian, Alb-Cenomanian, Turonian-Campanian and Cenozoic periods of geological time. In the course of the work, it was established that in the Meso-Cenozoic time, the studied territory did not develop multidirectional and experienced alternating changes in the signs of vertical tectonic movements viewed on a regional scale. The obtained results confirm the conclusions of previous researchers about the inversion nature of the tectonic development of the territory. The position, size, and morphology of such zones that is considered as promising objects for the localization of hydrocarbon deposits are clarified.

Keywords: Western Siberia, Yamal-Nenets autonomous district, paleotectonic analysis, sedimentary complex

Геодинамический аспект формирования и развития залежей нефти и газа в последние 15–20 лет становится определяющим при поисках, разведке и эксплуатации месторождений как в Западной Сибири, так и в целом мире. Результаты палеотектонических исследований позволяют восстанавливать палеогеографические обстановки осадконакопления и, следовательно, прогнозировать состав и характер распределения осадков в плане и в разрезе осадочного чехла, а также оценить основные этапы формирования и трансформации ловушек нефти и газа во времени.

В практике поисково-разведочных работ подобного рода исследования осуществляются на основе метода изопахического треугольника [1, 2], предполагающего выполнение анализа изменения мощностей осадочных комплексов, соответствующих по времени своего формирования основным этапам тектонического развития изучаемого седиментационного бассейна.

Результаты палеотектонических реконструкций условий осадконакопления в пределах Западно-Сибирской плиты изложены в многочисленных монографиях и научных статьях М.Я. Рудкевича, В.С. Бочкарева, А.А. Тимофеева, Е.М. Максимова, Ф.Г. Гурари, А.Э. Конторовича, Н.Н. Ростовцева, С.В. Аплонова, Ю.В. Вайполина и многих других исследователей.

Среди многообразия работ, посвященных палеотектоническим реконструкциям Западной Сибири, особое внимание следует уделить атласу структурных и палеотектонических карт для территории Западно-Сибирской низменности [3], разработанному в 1970-х гг. коллективом исследователей под руководством М.Я. Рудкевича. Авторами был построен набор палеотектонических карт, отображающих главные этапы геологического развития региона – начиная от раннетриасовой эпохи до конца неогенового периода. Приведенные в атласе карты и схемы характеризуют собой сложную динамику развития Западно-Сибирской плиты и условия формирования платформенных структур. При этом обращалось особое внимание на неоднократную смену знаков тектонических движений, определивших инверсионный характер развития осадочного чехла Западно-Сибирской плиты [4, 5], доказанного на примере Медвежьего, Нижне-Пурского, Тазовского, Северо-Сосьвинского мегавалов, а также Александровского и Средне-Васюганского валов и ряда других крупных структур.

Вместе с тем отмечалось, что выполненные реконструкции во многом являются схематичными в связи с явной ограниченностью исходной геолого-геофизической информации (преимущественно данные грави- и магниторазведки, а также редкая сеть региональных 2D сейсмических профилей), использованной при построении представленной графической информации.

За более чем 50-летний период геологического изучения Западно-Сибирской плиты, прошедший с момента издания данного атласа, в пределах рассматриваемой территории были проведены большие объёмы геологоразведочных работ, включающие в себя сейсмические исследования МОГТ 2D и 3D, а также поисково-разведочное и эксплуатационное бурение. Полученные геолого-геофизические материалы позволяют существенно дополнить и уточнить результаты ранее выполненных палеотектонических реконструкций.

Материалы и методы исследования

В данной статье приводятся результаты проведенного авторами палеотектонического анализа северной части Западно-Сибирской плиты, в административном плане соответствующей территории Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО).

Палеотектонические реконструкции осуществлялись на основе построения карт изопахит, характеризующих особенности изменения мощностей осадков в плане и в разрезе осадочного чехла северной части Западно-Сибирской плиты в течение юрского, неокомского, аптского, альб-сеноманского, турон-кампанского и кайнозойского этапов геологического времени.

Экспериментальная часть (картопостроение). Основой для палеотектонических реконструкций послужили региональные структурные карты масштаба 1:500 000, построенные авторами [6] по основным отражающим сейсмическим горизонтам, выделяемым в разрезе осадочного чехла в северной части Западной Сибири:

– «А» – подошва мезозойско-кайнозойского осадочного чехла;

– «Б» – кровля баженовской свиты и ее аналогов (отвечает границе раздела юрских и меловых отложений);

– «М» – кровля черкашинского горизонта (граница раздела неокомских и аптских отложений);

– «М′» – кровля танопчинской свиты и её аналогов (граница раздела аптского и альб-сеноманского осадочных комплексов);

– «Г» – кровля покурской свиты и её аналогов (отвечает времени окончания сеноманского века);

– «$С_2$» – кровля березовской свиты и её аналогов (отвечает времени окончания маастрихтского века).

Указанные выше опорные горизонты во временном поле соответствуют поверхностям разделов регионально развитых глинистых и песчано-алевритовых отложений [7], формирующих устойчивые, контрастные сейсмические отражения. Данное обстоятельство позволяет уверенно выделять и прослеживать на временных разрезах гра-

ницы мощных осадочных комплексов в пределах изучаемой территории, т.е. получать кондиционную исходную сейсмическую информацию, являющуюся основой для последующих структурных построений.

Структурные построения осуществлялись на основе результатов комплексной интерпретации материалов сейсмических исследований (532 тыс. пог. км профилей 2D с кратностью от 12 до 60 и 3D-данных – 35 тыс. км^2) и данных поисково-разведочного бурения (стратиграфические разбивки по более чем 6 тыс. скважинам). Объёмы использованной для построений фактической геолого-геофизической информации представлены на рис. 1.

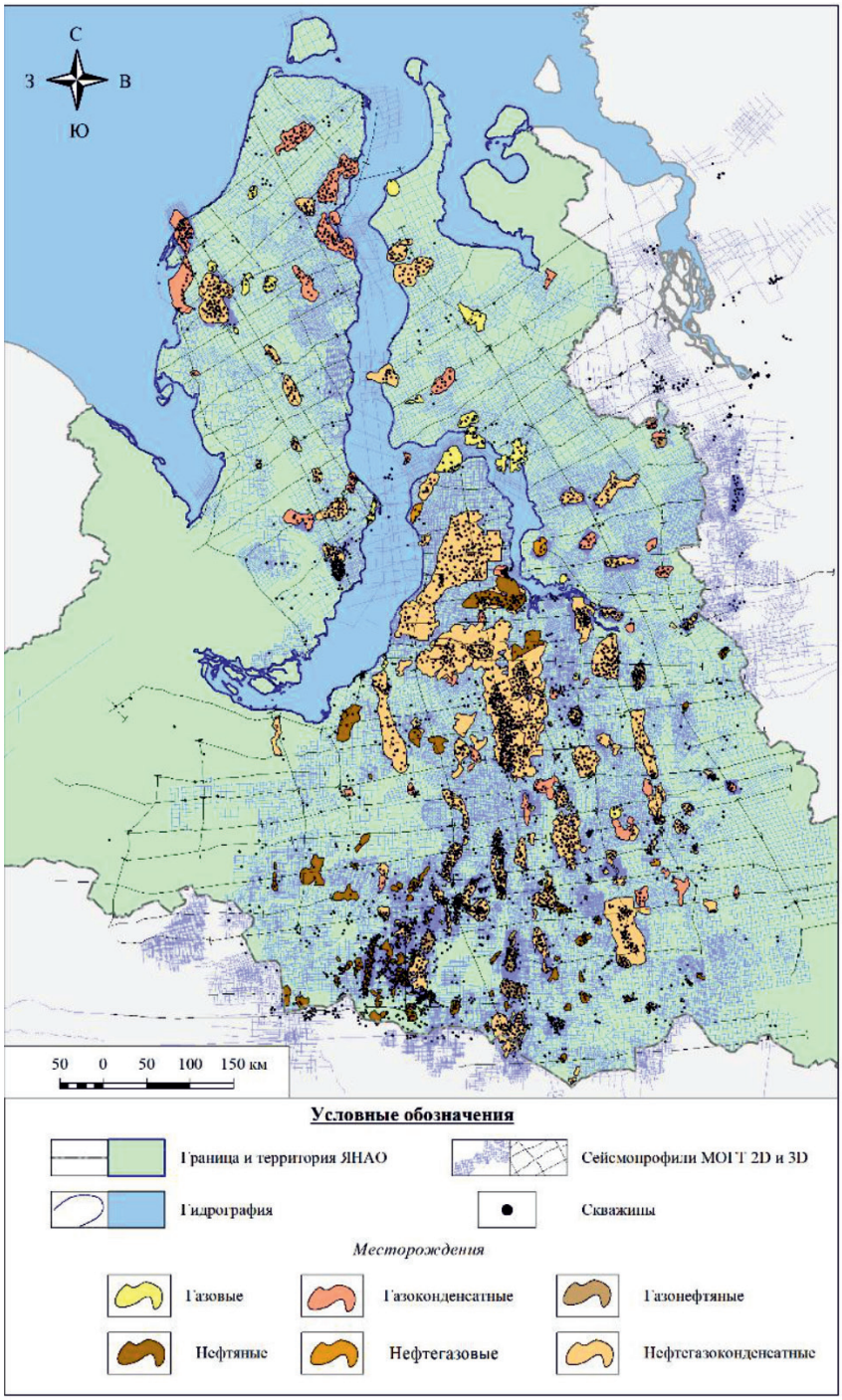


Рис. 1. Объём геолого-фактического материала, использованного при построении карт

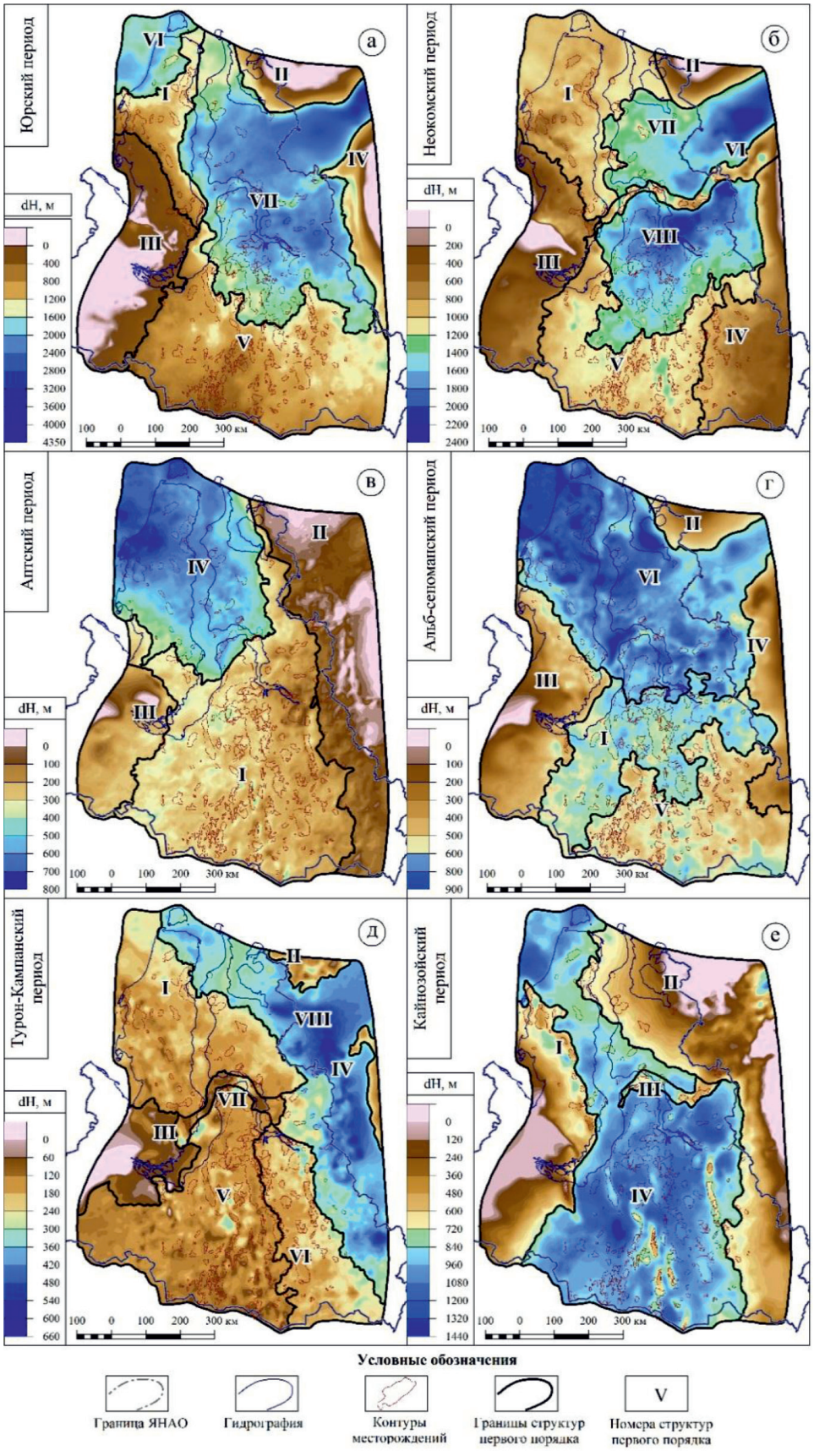


Рис. 2. Палеотектонические схемы севера Западно-Сибирской плиты

На следующем этапе исследований на основе трансформаций указанных выше структурных поверхностей была получена серия карт изопахит, характеризующих палеотектонические условия осадконакопления на конец юрского («А»–«Б»), неокомского («Б»–«М»), аптского («М»–«М/»), альб-сеноманского («М/»–«Г»), турон-кампанского («Г»–«$С_2$») и кайнозойского («$С_2$»–0) времени. Полученные схемы приведены на рис. 2.

Результаты исследования и их обсуждение

Представленные на рис. 2 схемы мощностей осадочных комплексов свидетельствуют о существенных изменениях палеотектонических обстановок на различных этапах развития седиментационного бассейна. Периоды интенсивного прогибания северной части Западно-Сибирской плиты, обуславливающего заполнение бассейна и выполаживание рельефа, сменялись этапами относительного воздымания и стабилизации палеорельефа. Всё это находит своё отражение в изменениях мощностей сформировавшихся толщ, а также в смещениях границ впадин и поднятий, обуславливающих смену депоцентров осадконакопления.

При этом в течение каждого из рассматриваемых временных периодов в палеорельефе территории севера Западной Сибири происходило заложение крупных положительных и отрицательных региональных структур, а также сочленяющих их промежуточных форм палеорельефа. Подобного рода структуры были выделены авторами на каждой палеотектонической карте и им были присвоены соответствующие названия. С целью формирования преемственности между названиями современных и палеотектонических структур использовались наименования, принятые в наиболее распространенных тектонических картах Западной Сибири [8]. Таблица с наименованиями выявленных палеоструктур, представленных на рис. 2, приводится в таблице.

В юрский период тектонического развития территории (рис. 2, а) наиболее интенсивное погружение образований доюрского комплекса происходило в пределах Гыдан-Пур-Тазовской палеомегасинеклизы и Западно-Ямальской палеовпадины. В пределах остальной части исследуемой территории преобладали процессы относительного воздымания. К числу наиболее контрастных положительных палеоструктур в данное время относились Притаймырская, Припайхойско-Ямальская и Приенисейская палеомоноклизы. Необходимо отметить, что данные структуры являлись областями устойчивого воздымания в течение всего мезозойско-кайнозойского периода развития территории.

В неокомское время (рис. 2, б) в целом сохраняется унаследованность особенностей тектонического развития. Конфигурация сформировавшихся на данном этапе тектонических структур в основном повторяет конфигурацию тектонических элементов, заложившихся в юрское время. Основные депоцентры осадконакопления по-прежнему были связаны с территориями Ямало-Гыданской и Надым-Пур-Тазовской палеомегасинеклиз. При этом морфология и размеры данных структур претерпели некоторые трансформации.

Ямало-Гыданская палеомегасинеклиза незначительно сократила свою площадь из-за процессов воздымания, охвативших северную часть полуострова Гыдан. Надым-Пур-Тазовская палеомегасинеклиза, наоборот, увеличивает свою площадь за счёт вовлечения в процесс погружения северной части Надымско-Варьеганской палеомоноклизы. Несмотря на подобные незначительные трансформации можно сделать вывод о том, что данные структуры в юрско-неокомское время в целом развивались унаследованно.

Среди положительных структур унаследованным развитием были охарактеризованы Притаймырская, Припайхойско-Ямальская и Приенисейско-Маховская палеомоноклизы.

Первая тектоническая инверсия, которая произошла в юрско-меловой период развития исследуемой территории, связана с трансформациями Западно-Ямальской палеовпадины. Данная структура, испытав в неокомское время интенсивное воздымание, объединилась с Ямальским палеомегавалом и сформировала крупную положительную структуру – Ямальскую палеомоноклизу. Данный пример характеризует собой общую смену направленности тектонических движений с отрицательных, существовавших в юрское время, на положительные в неокоме.

В аптское время (рис. 2, в) также происходят весьма значительные изменения палеорельефа в пределах северной части Западно-Сибирского осадочного бассейна. В это время большая часть исследуемой территории характеризовалась преобладанием восходящих тектонических движений, в результате проявления которых произошло сочленение Притаймырской и Приенисейско-Маховской палеоантеклиз, а также полное расформирование Мессояхского палеомегавала.

Нумерация и названия палеоструктур первого порядка, выделяемых в пределах северной части Западно-Сибирской плиты на окончание каждого из рассматриваемых временных периодов

Юрский период		Неокомский период		Аптский период			Альб-сеноманский период	Турон-кампанский период		Кайнозойский период	
а		б		в			г	д		е	
I	Ямальская палеомегатер.	I	Ямальская палеомоноклиза	I	Надым-Пур-Тазовская палеомегатерраса	I	Надым-Пурская палеомегатерраса	I	Ямало-Гыданская палеомегаантеклиза	I	Припайхойско-Ямальская палеомоноклиза
II	Притаймырская палеомоноклиза	II	Притаймырская палеомоноклиза	II	Притаймырская палеомоноклиза	II	Притаймырская палеомегаантеклиза	II	Притаймырская палеомегаантеклиза	II	Притаймырско-Приенисейско-Гыданская палеомоноклиза
III	Припайхойско-Ямальская палеомоноклиза	III	Припайхойско-Ямальская палеомоноклиза	III	Припайхойско-Ямальская палеомоноклиза	III	Припайхойско-Ямальская палеомоноклиза	III	Припайхойско-Ямальская палеомоноклиза	III	Мессояхский пояс мегавалов
IV	Приенисейская палеомоноклиза	IV	Приенисейско-Маховская палеомегамоноклиза	IV	Ямало-Гыданская палеомегасинеклиза	IV	Приенисейско-Маховская палеомегамоноклиза	IV	Приенисейско-Маховская палеомегамоноклиза	IV	Ямал-Надым-Пур-Тазовская палеомегасинеклиза
V	Надымско-Варьеганская палеомоноклиза	V	Надымско-Варьеганская палеомоноклиза	–	–	V	Тагринско-Харампурско-Русская палеоантеклиза	V	Надым-Пурская палеомегатерраса	–	–
VI	Западно-Ямальская палеовпадина	VI	Мессояхский палеомегавал	–	–	VI	Ямал-Гыдан-Обь-Тазовская палеомегасинеклиза	VI	Тагринско-Харампурская палеомегатерраса	–	–
VII	Гыдан-Пур-Тазовская палеосинеклиза	VII	Ямало-Гыданская палеомегасинеклиза	–	–	–	–	VII	Мессояхский палеомегавал	–	–
–	–	VIII	Надым-Пур-Тазовская палеомегасинеклиза	–	–	–	–	VIII	Гыдан-Енисей-Маховская палеомегамоноклиза	–	–

Примечание: коричневые – положительны, зеленые – промежуточные, синие – отрицательные структуры.

Значительные изменения произошли с Надым-Пур-Тазовской и Ямало-Гыданской палеомегасинеклизами. Указанные отрицательные структуры, активно развивавшиеся в юрское и раннемеловое (неокомское) время, в результате воздействия восходящих тектонических движений были переформированы в обширную промежуточную форму палеорельефа – Надым-Пур-Тазовскую палеомегатеррасу.

Полное обращение неокомского палеорельефа, обусловленное сменой режима восходящих движений на погружение, произошло в северо-западной части Западно-Сибирской плиты, в пределах которой произошло преобразование Ямальской палеомоноклизы в Ямало-Гыданскую палеомегасинеклизу.

В альб-сеноманское время (рис. 2, г) большая часть территории севера Западной Сибири испытывает интенсивное погружение. Таким образом, наблюдается чёткая тектоническая инверсия – активное преобладающее воздымание в апте сменяется на погружение бассейна в альб-сеноманское время.

При этом наиболее активно погружалась северо-западная часть исследуемой территории. Ямало-Гыданская палеомегасинеклиза значительно увеличивает свою площадь, охватывая большую часть территории полуостровов Ямал и Гыдан, а также северную часть Обь-Тазовского междуречья. Подобная площадная трансформация позволяет назвать данную структуру Ямал-Гыдан-Обь-Тазовской палеомегасинеклизой.

Центральная часть Надым-Пурского междуречья испытывает погружение. В данный период времени авторы выделяют здесь структуру промежуточного типа – Надым-Пурскую палеомегатеррасу. Эта структура занимает промежуточное положение между активно погружающейся северной частью осадочного бассейна и его воздымающейся периферийной частью.

В пределах южной части рассматриваемой территории происходило заложение и развитие крупной положительной структуры – Тагринско-Харампурско-Русской палеоантеклизы. Кроме того, восходящие тектонические движения уже традиционно испытывала Припайхойско-Ямальская палеомегаантеклиза, которая на конец сеноманского времени вновь распалась на два отдельных положительных сегмента – Притаймырскую палеомегаантеклизу и Приенисейско-Маховскую палеомегамоноклизу за счёт значительного погружения, вызванного тектонической инверсией в пределах территории современного Усть-Енисейско-Агапского пояса мегапрогибов.

В турон-кампанское время (рис. 2, д) происходит очередная крупная тектоническая инверсия, в результате которой большая часть севера Западной Сибири испытала импульс положительных тектонических движений.

За счёт проявления восходящих тектонических движений происходит трансформация Надым-Пурской палеомегатеррасы, которая значительно увеличивает свою площадь в южном и западном направлениях за счёт частичного сочленения с Тагринско-Харампурско-Русской палеоантеклизой, которая, в свою очередь, трансформировалась в Тагринско-Харампурскую палеомегаантеклизу.

Наибольшее влияние тектонической инверсии испытывает Ямал-Гыдан-Обь-Тазовская палеомегасинеклиза. В результате воздействия восходящих тектонических движений данная отрицательная структура была преобразована в положительную структуру – Ямало-Гыданскую палеомегаантеклизу.

При этом наиболее активное воздымание испытывал Мессояхский палеомегавал, сочленяющий Ямало-Гыданскую палеомегаантеклизу и Надым-Пурскую палеомегатеррасу.

В турон-кампанское время происходит общее сокращение площадей таких положительных структур, как Притаймырская, Припайхойско-Ямальская и Приенисейско-Маховская палеомегамоноклизы.

Основному сокращению площади в это время подвергается Приенисейско-Маховская палеомегамоноклиза. Это происходит за счёт глобальной тектонической инверсии, которая влечёт за собой заложение протяженной отрицательной структуры – Гыданско-Енисейско-Маховской палеомегасинеклизы.

В кайнозойское время (рис. 2, е) происходит очередная перестройка палеорельефа исследуемой территории. Центральная часть осадочного бассейна испытывает инверсионное погружение, в результате чего происходит трансформация Надым-Пурской палеомегатеррасы и большей части Ямало-Гыданской палеомегаантеклизы в Ямал-Надым-Пур-Тазовскую палеомегасинеклизу. В пределах данной отрицательной палеомегаструктуры выявляются отдельные участки, испытываю-

щие восходящие тектонические движения. Крупнейшей из подобных структур является Мессояхский палеомегавал.

Полное тектоническое обращение палеорельефа произошло в пределах Гыданско-Енисейско-Маховской палеомегасинеклизы, которая в кайнозойское время трансформировалась в положительную структуру – Притаймырско-Приенисейско-Гыданскую палеомоноклизу.

В западной части осадочного бассейна обособляется Припайхойско-Ямальская палеомоноклиза, которая сформировалась за счёт сочленения трёх тектонических элементов, существовавших в турон-кампанское время – Ямало-Гыданской палеомегаантеклизы, Припайхойско-Ямальской палеомоноклизы и Надым-Пурской палеомегатеррасы.

Оценивая в целом результаты выполненного палеотектонического анализа, необходимо отметить, что на протяжении всего мезозойско-кайнозойского этапа развития северная часть Западно-Сибирской плиты в целом представляла собой область устойчивого погружения, сопровождавшегося заполнением седиментационного бассейна породами терригенного состава. При этом периоды наиболее интенсивного прогибания, обуславливающего формирование мощных осадочных толщ, в течение длительного геологического времени сменялись этапами относительного воздымания, в результате чего происходило значительное сокращение объёмов мощностей и объёмов осадков, накапливаемых на последующих этапах геологического развития. Неоднократные смены знаков вертикальных тектонических движений находили своё отражение в изменениях площадей палеоструктур, в их частичном или полном расформировании, а также в переходе положительных форм рельефа в промежуточные и отрицательные и наоборот.

Для того, чтобы наиболее наглядно продемонстрировать инверсионный характер развития осадочного чехла в северной части Западно-Сибирской плиты, авторами была построена серия схем, демонстрирующих последовательность изменений направленности тектонических движений в мезозойско-кайнозойский период развития (рис. 3). На каждой из представленных на рисунке схем выделены участки, характеризующиеся унаследованным или инверсионным развитием (воздыманием или погружением) палеорельефа по сравнению с предшествующими этапами геологического времени.

Полученные результаты дают основания утверждать, что в течение всего мезозойско-кайнозойского этапа развития вся северная часть Западно-Сибирской плиты характеризовалась неоднократными сменами знаков тектонических движений, определявших особенности развития седиментационного бассейна, т.е. изменения направлений движения моря (трансгрессии, регрессии), его глубины, а также положения береговой линии, что в комплексе обуславливало литологический состав, структурно-текстурные признаки и мощности осадочных комплексов.

Кроме того, изменения направленности и динамики тектонических движений, несомненно, сопровождались нарушением сплошности (оползневые явления, микро- и макротрещиноватость) пород-коллекторов и вмещающих их отложений, что, по мнению авторов, оказало существенное влияние на направленность как вертикальных, так и горизонтальных миграционных потоков, обусловивших формирование месторождений УВ.

Основными механизмами, обусловившими инверсионные тектонические движения в пределах исследуемой территории, являются глобальные тектонические процессы, протекающие в пределах Западно-Сибирской геосинеклизы и в акватории Карского моря. К числу данных процессов следует отнести проявления пермо-триасового рифтогенеза, определившего основную расчленённость доюрского рельефа Западно-Сибирской плиты [9], а также сибширотные постколлизионные растяжения аптальбского времени [10], способствовавшие обновлению рифтовых систем в пределах Арктической части Сибири.

Как следует из рис. 3, большая часть месторождений углеводородов, открытых в пределах северной части Западно-Сибирской плиты, приурочена к зонам инверсионного тектонического развития. К их числу относится серия гигантских месторождений с уникальными запасами газа – Уренгойское, Ямбургское, Заполярное, Медвежье, Южно-Русское, Бованенковское, Крузенштернское, Харасавэйское, а также месторождения Тамбейской группы. Данное обстоятельство позволяет сделать вывод о взаимосвязи инверсионных тектонических движений и региональной нефтегазоносности продуктивных отложений в пределах исследуемой территории.

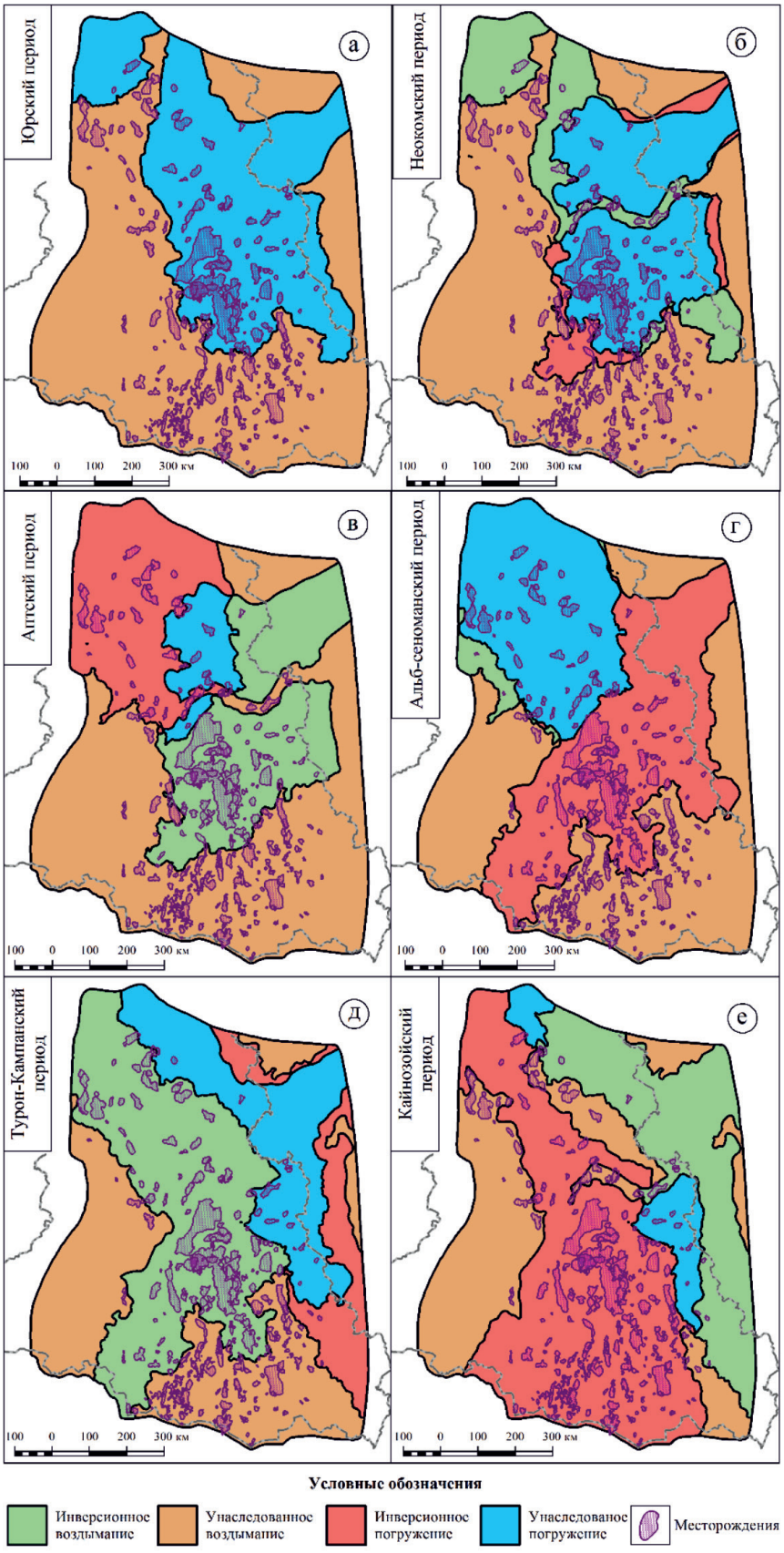


Рис. 3. Схемы тектонических инверсий севера Западной Сибири

Выводы

Результаты выполненных палеотектонических реконструкций свидетельствуют о значительном влиянии знакопеременных (инверсионных) движений на преобразования палеорельефа крупных осадочных комплексов в течение всего мезозойско-кайнозойского этапа тектонического развития северной части Западно-Сибирской плиты. Характер площадного распространения месторождений углеводородного сырья, выявленных на территории Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, позволяет рассматривать области (зоны) инверсионного тектонического развития в качестве одного из основных объектов поисковых работ на нефть и газ. Изучение взаимосвязи инверсионных тектонических движений и нефтегазоносности продуктивных комплексов осадочного чехла в северной части Западно-Сибирской плиты является дальнейшим предметом изучения авторов. Первоочередными задачами исследований является локализация наиболее перспективных участков в пределах уже выявленных областей инверсионного тектонического развития с целью обоснования рекомендаций по постановке как детализационных сейсморазведочных работ, так и поисково-разведочного бурения.

Список литературы / References

1. Корчуганова Н.И. Новейшая тектоника с основами современной геодинамики. Методическое руководство. М.: Геокарт, 2009. 354 с.

Korchuganova N.I. The latest tectonics with the basics of modern geodynamics. Methodical guide. M.: Geokart, 2009. 354 p. (in Russian).

2. Бакиров А.А., Бакиров Э.А., Габриэлянц Г.А., Керимов В.Ю., Мстиславская Л.П. Теоретические основы поисков и разведки нефти и газа. М.: Недра, 2017. 412 с.

Bakirov A.A., Bakirov E.A., Gabrielyants G.A., Kerimov V.Yu., Mstislavskaya L.P. Theoretical Foundations of Oil and Gas Exploration. M.: Nedra, 2017. 412 p. (in Russian).

3. Рудкевич М.Я., Бочкарев В.С., Максимов Е.М., Тимофеев А.А. Основные этапы истории геологического развития Западно-Сибирской плиты. Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1970. 175 с.

Rudkevich M.Ya., Bochkarev V.S., Maksimov E.M., Timofeev A.A. The main stages of the history of the geological development of the West Siberian Plate. Tyumen: ZapSibNIGNI, 1970. 175 p. (in Russian).

4. Рудкевич М.Я. Палеотектонические критерии нефтегазоносности. М.: Недра, 1974. 184 с.

Rudkevich M.Ya. Paleotectonic criteria of oil and gas. M.: Nedra, 1974. 184 p. (in Russian).

5. Рудкевич М.Я. Структурно-формационные и палеотектонические критерии нефтегазоносности. Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1972. 143 с.

Rudkevich M.Ya. Structural-formation and paleotectonic criteria of oil and gas. Tyumen: ZapSibNIGNI, 1972. 143 p. (in Russian).

6. Скрылев С.А., Воробьев С.В., Максименко О.В., Кулагина О.С., Горбунов П.А., Кулагина О.Г. Особенности тектонического развития северной части Западно-Сибирской плиты в юрско-меловое время // Сборник научных трудов ТюменНИИгипрогаз. Тюмень, 2017. С. 94–98.

Skrylev S.A., Vorobev S.V., Maksimenko O.V., Kulagina O.S., Gorbunov P.A., Kulagina O.G. Features of tectonic development of the northern part of the West Siberian Plate in the Jurassic-Cretaceous time // Sbornik nauchnykh trudov TyumenNIIgiprogaz. Tyumen, 2017. P. 94–98 (in Russian).

7. Конторович В.А., Аюнова Д.В., Губин И.А., Ершов С.В., Калинин А.Ю., Калинина Л.М., Канаков М.С., Соловьев М.В., Сурикова Е.С., Шестакова Н.И. Сейсмостратиграфия, история формирования и газоносность структур Надым-Пурского междуречья (Западная Сибирь) // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 8. С. 1583–1595. DOI: 10.15372/GiG20160810.

Kontorovich V.A., Ayunova D.V., Gubin I.A., Ershov S.V., Kalinin A.Yu., Kalinina L.M., Kanakov M.S., Solov'ev M.V., Surikova E.S., Shestakova N.I. Seismic Stratigraphy, Formation History and Gas Potential of the Nadym-Pur Interfluve Area (West Siberia) // Geology and Geophysics. 2016. V. 57. № 8. P. 1583–1595 (in Russian).

8. Волков В.А. Атлас месторождений нефти и газа Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Тюмень, ИздатНаукаСервис, 2013. 236 с.

Volkov V.A. Atlas of oil and gas fields of the Khanty-Mansiysk Autonomous District – Ugra. Tyumen, IzdatNaukaService, 2013. 236 p. (in Russian).

9. Нежданов А.А., Огибенин В.В., Мельников М.В., Смирнов А.С. Строение и стратификация триас-юрских образований севера Западной Сибири // ROGTEC: Russian oil & gas technologies. 2014. № 9. С. 14–23.

Nezhdanov A.A., Ogibenin V.V., Melnikov M.V., Smirnov A.S. The structure and stratification of the Triassic-Jurassic formations of the north of Western Siberia // ROGTEC: Russian oil & gas technologies. 2014. № 9. P. 14–23 (in Russian).

10. Лаверов Н.П., Лобковский Л.И., Кононов М.В., Добрецов Н.Л., Верниковский В.А., Соколов С.Д., Шипилов Э.В. Базовая модель тектонического развития Арктики как основа для подготовки обновленной заявки России в Комиссию ООН на установление внешней границы континентального шельфа // Арктика: экология и экономика. 2012. № 2 (6). С. 4–19.

Laverov N.P., Lobkovskiy L.I., Kononov M.V., Dobretsov N.L., Vernikovskiy V.A., Sokolov S.D., Shipilov E.V. The basic model of tectonic development of the Arctic as a basis for preparing an updated application of Russia to the UN Commission to establish the external border of the continental shelf // Arctic: ecology and economy. 2012. № 2 (6). P. 4–19 (in Russian).

УДК 911.2:504.53

ДИНАМИКА ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННО ИЗМЕНЕННЫХ ПОЧВ НАЗАРОВСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Воробьева И.Б.

ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы» СО РАН, Иркутск, e-mail: irene@irigs.irk.ru

В настоящее время сельское хозяйство, наряду с промышленностью, стало мощным фактором воздействия на окружающую среду. Распашка земель меняет профиль почвы, разрушает структуру, приводит к обеднению верхних горизонтов, способствует усилению водной эрозии и дефляции. В Красноярском крае степень сельскохозяйственной освоенности в несколько раз превосходит аналогичный показатель по Российской Федерации, а уровень распаханности земель – один из самых высоких по стране. При распашке целинных земель происходит замена естественной растительности на монодоминантную, а поверхность почвы покрыта растительностью только часть года, что приводит к вымыванию элементов питания за пределы корнеобитаемого слоя и их выносу за пределы поля. Анализ динамики климата территории исследования показал, что количество атмосферных осадков в основном близко к норме с отклонениями как в сторону увеличения, так и уменьшения. Гидротермический режим почв, расположенных на склонах, находится в большой зависимости от распределения солнечной радиации. Установлено, что для естественного чернозема выявлены два больших цикла, когда температура и влажность находились в противоположных фазах, тогда как почвы антропогенной модификации (пашни) не показали четких температурных циклов. Почва обладает инерционными свойствами и эффектом последействия, которые связаны с предшествующими сезонными фазами. Обнаружено, что этот эффект зависит от предшествующих экстремальных по гидротермическим условиям лет. Увеличение влажности способствует образованию подвижных форм органического вещества и его вымыванию за пределы почвенного профиля. Последующие года – теплые с низким количеством осадков, и вследствие недостатка влаги произошло концентрирование в почвах мобильных соединений. Антропогенно преобразованная почва обнаружила те же закономерности, что и природный аналог, а содержание водорастворимых форм углерода обнаруживает меньшую амплитуду колебаний.

Ключевые слова: температура, влажность, естественные, антропогенно измененные почвы, мобильное органическое вещество

DYNAMICS OF HYDROTHERMAL CONDITIONS AND ORIGINALITY OF CHANGES IN NATURAL AND ANTHROPOGENICALLY CHANGED SOILS NAZAROVSKAYA FOREST-STEPPE ZONE OF MIDDLE SIBERIA

Vorobeva I.B.

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: irene@irigs.irk.ru

Currently, agriculture, along with industry, has become a powerful factor in the impact on the environment. Plowing changes the soil profile, destroys the structure, leads to the impoverishment of the upper horizons, contributes to increased water erosion and deflation. In the Krasnoyarsk region, the degree of agricultural development is several times higher than in the Russian Federation, and the level of ploughing is one of the highest in the country. When plowing virgin lands, natural vegetation is replaced by monodominant, and the soil surface is covered with vegetation only part of the year, which leads to the leaching of nutrients beyond the root layer, and their removal outside the field. The analysis of the dynamics of the climate of the study showed that the precipitation mainly close to normal with variance in the direction of increase or decrease. The hydrothermal regime of soils located on the slopes is highly dependent on the distribution of solar radiation. It is established that for natural Chernozem, two large cycles were revealed, when the temperature and humidity were in opposite phases, while the soils of anthropogenic modification (arable land) did not show clear temperature cycles. The soil has inertial properties and the effect of aftereffect, which are associated with the previous seasonal phases. It was found that this effect depends on the previous extreme hydrothermal conditions years. The increase in humidity contributes to the formation of mobile forms of organic matter and its leaching beyond the soil profile. The following years – warm with low rainfall and due to lack of moisture was concentrated in soils of mobile compounds. Anthropogenically transformed soil revealed the same patterns as the natural analogue, and the content of water-soluble forms of carbon exhibit a lower vibration amplitude.

Keywords: temperature, humidity, natural, anthropogenically altered soils, mobile organic matter

Вся история человечества – это история экономического роста и последовательного разрушения среды обитания. Одним из основных воздействий на окружающую среду является сельскохозяйственное производство. В Красноярском крае степень сельскохозяйственной освоенности (63 %) в несколько раз превосходит аналогичный показатель по Российской Федерации, а уровень распаханности (43 %) здесь один из самых высоких по стране. Это объясняется благоприятными природными условиями и длительным периодом освоения.

Сильнее всего на природную среду влияет земледелие, которое может приводить к разрушению почвенных экосистем, поте-

ре плодородия, водной и ветровой эрозии, уплотнению почвы. При распашке целинных земель происходит замена естественной растительности на монодоминантную, из которой отчуждается значительная часть фитомассы, к тому же на пашнях поверхность почвы покрыта растительностью только часть года. Это приводит к вымыванию элементов питания из корнеобитаемого слоя, и их выносу с латеральным поверхностно-склоновым и почвенно-грунтовым стоком за пределы поля [1, 2].

Анализ данных государственного мониторинга земель и других систем наблюдения за состоянием окружающей среды Красноярского края показывает, что качество земель во всех районах интенсивно ухудшается [3]. Почвенный покров подвергается деградации, загрязнению, захламлению и уничтожению, катастрофически теряет устойчивость к разрушению, способность к воспроизводству плодородия вследствие истощительного и потребительского использования земель.

В природных условиях доминирует естественный круговорот веществ: минеральные вещества, забираемые растениями из почвы, после отмирания растений снова возвращаются в нее. Если же в результате отчуждения урожая система нарушается, становится необходимым применение удобрений, что наносит вред всей системе.

Цель исследования: показать особенности изменений естественных и антропогенно измененных почв по показателям динамики температуры, влажности и мобильного органического вещества.

Материалы и методы исследования

Исходные данные экологического состояния почвы (температура и влажность) получены в результате полевых работ, проводившихся с 1986 по 2014 г. в Назаровской котловине, на Березовском лесостепном стационаре Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН в различные по гидроклиматическим условиям годы. В работе основное внимание уделено анализу временных рядов температуры и влаги в слое почв 0–20 см и 0–50 см естественной и антропогенно измененной почвы (пашни) и динамики мобильных форм соединений углерода.

Объекты исследований расположены на склоне юго-восточной экспозиции с крутизной 10–15° (рис. 1). Чернозем слабовыщелоченный среднемощный с бобово-подорожниково-овсецовой растительностью с хвощом (т. 5). Плотность почвы увеличивается с глубиной, структура – хорошая. Фиксируется буроватый оттенок переходного горизонта – идет процесс выщелачивания. По ходам корней – скопление гидроокислов железа, а оглеение и железисто-марганцевые стяжения обусловлены скоплением влаги, за счет более плотного горизонта $C_к$, в связи с чем периодически создается глеевая обстановка. Кислотно-основные свойства почвы меняются от слабокислой до щелочной. Сумма поглощенных оснований уменьшается с глубиной. В почвенном поглощающем комплексе доминирует кальций. Количество органического углерода убывает вниз по профилю. Содержание P_2O_5 резко уменьшается с глубиной, распределение K_2O – равномерное по всему профилю. Влажность почвы уменьшается с глубиной.

Антропогенной модификации чернозема слабовыщелоченного среднемощного – пашни (т. 6) характерна неровная поверхность поля с небольшими струйчатыми размывами. До глубины 6 см пахотный горизонт рыхлый, с глубиной почва уплотняется, что связано с вымыванием из верхнего горизонта тонкодисперсных частиц и аккумуляции их над «плужной подошвой». Выравнивающая планировка поля и периодическое перемешивание верхних слоев при распашке в значительной мере изменили морфологическое строение почвы. Пахотная почва имеет более узкий диапазон значений pH внутри почвенного профиля, чем его природный аналог. Заметно меньше обменных оснований, с глубиной их содержание увеличивается. Количество подвижных форм фосфора и калия незначительно, что обусловлено использованием питательных элементов растениями, а впоследствии отчуждаются с урожаем. Необходимо постоянное пополнение, внесение удобрений. В пахотном горизонте характерна довольно высокая обогащенность азотом и органическим углеродом, с последующим резким убыванием (более чем в три раза) переходном.

Для характеристики климатических условий района исследований были использованы данные метеостанции «Шарыпово», расположенной в 10 км от территории исследования.

Применялись методы: ландшафтно-геохимический, сравнительно-географический, сравнительно-аналитический, профильно-генетический, картографический и статистический.

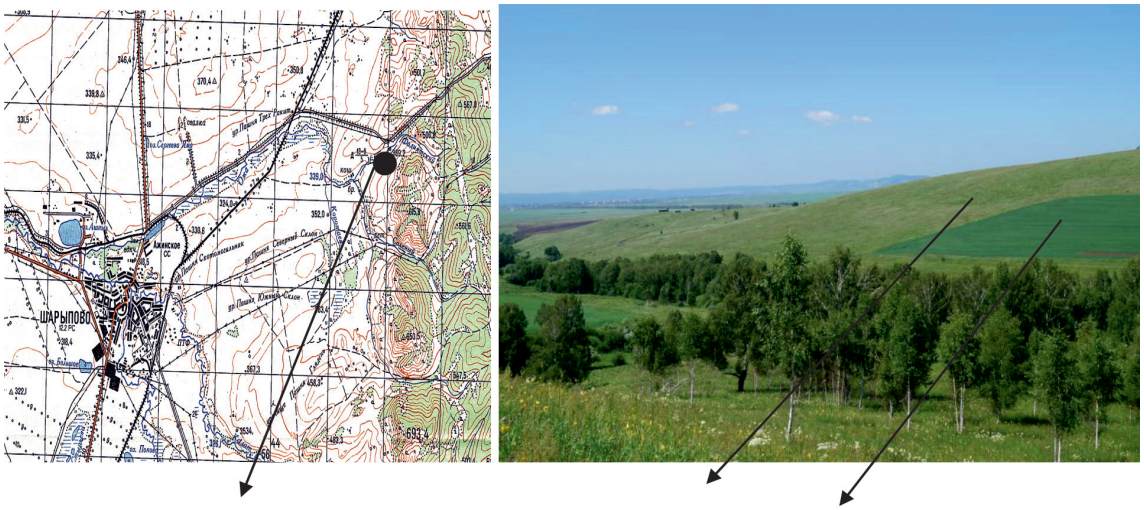


Рис. 1. Территория исследования. Склон юго-восточной экспозиции: чернозем слабовыщелоченный среднемощный – т. 5; антропогенная модификация чернозема слабовыщелоченного среднемощного – пашня – т. 6. Назаровская котловина, Средняя Сибирь

Образцы почв отбирались и анализировались по общепринятым методикам и соответствующим ГОСТам.

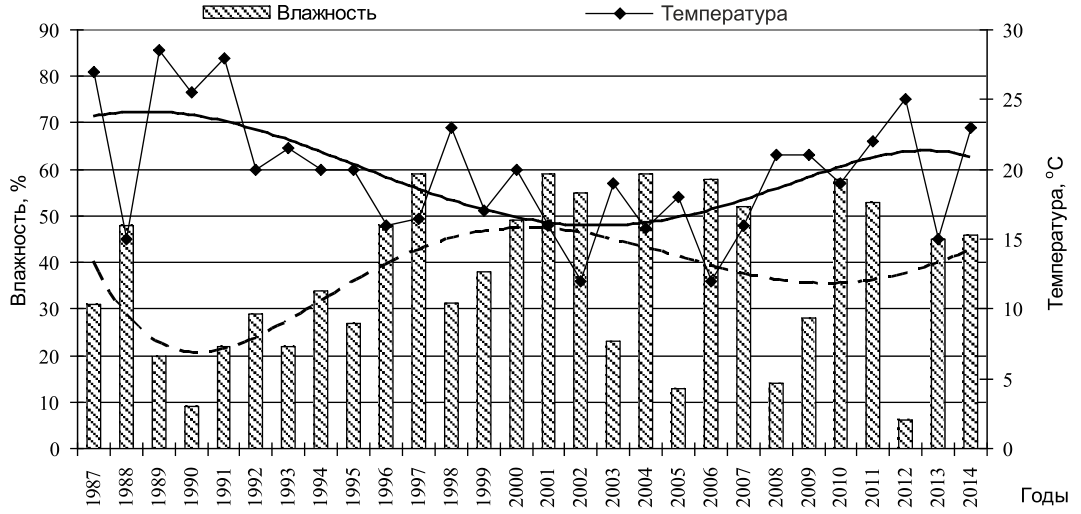
Образцы почв отбирались ежегодно в середине вегетационного периода, в июле, на одних и тех же участках. К этому времени все процессы в почвах разных местоположений приобретают относительно стабильные значения, максимальное накопление фитомассы. Многолетние исследования позволили получить оригинальный материал по изменению гидротермических показателей естественной и антропогенно измененной почвы Назаровской лесостепи.

Результаты исследования и их обсуждение

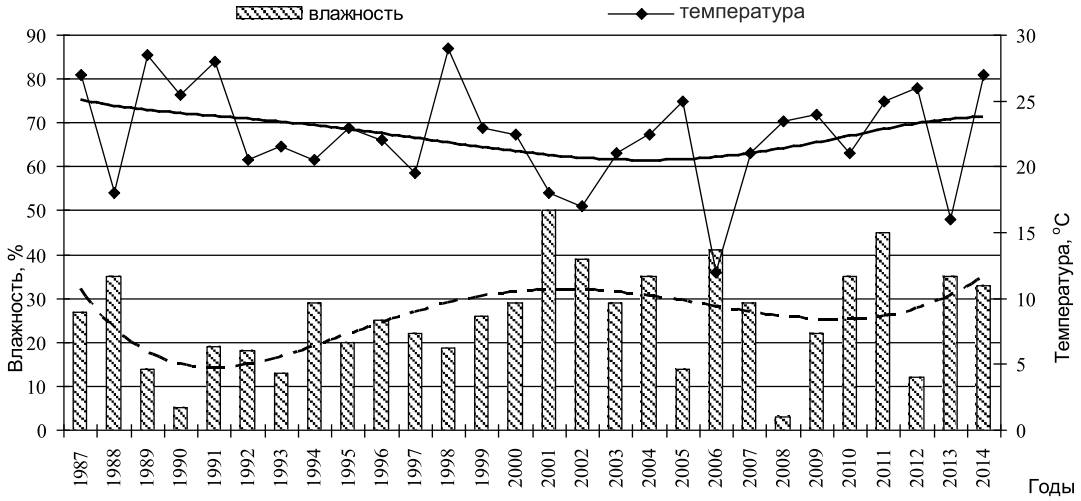
Анализ динамики климата территории исследования показал, что количество атмосферных осадков в основном близко к норме (444 мм) с отклонениями как в сторону увеличения (до 668 мм в 1996 г.), так и уменьшения (до 276 мм в 1989 г.), то есть количество осадков может различаться более чем в два раза. За время наблюдений осадков выше нормы было в 1987, 1996, 2000, 2004, 2014, 2015 и 2017 гг. Минимальные количества были зафиксированы в 1989, 1998, 1999 и 2011 гг., т.е. сумма осадков за год имеет устойчивый положительный тренд начиная с 2000 г. Среднегодовая температура воздуха, за время наблюдений, показала отрицательные значения только в 1996, 2009 и 2010 гг. Максимальные значения были выявлены в 1995, 2002, 2007, 2015 и 2017 гг. (свыше 3,0 °С при норме 0,9 °С).

По данным Института космических исследований Годдарда, 2017 г. стал одним из самых жарких за все время наблюдений. Национальное управление океанических и атмосферных исследований США установило, что 2017 год занимает второе место по жаркости вместе с 2015, а лидером является 2016. «К 2016 г. температура поверхности Земли поднялась на 1,1 °С по сравнению с доиндустриальной эпохой (конец XIX в.). В 2017 и 2015 г. показатели оказались одинаковыми: на 0,9 °С теплее», – уточняют учёные. Особенно заметен рост температуры в северном полушарии Земли [4].

Вегетационные периоды, в течение которых проводились наблюдения, существенно различались по метеорологическим условиям. Гидротермический режим почв, расположенных на склонах, находится в большой зависимости от распределения солнечной радиации. Установлено, что для естественного слабовыщелоченного среднемощного чернозема, за время наблюдений выявлено два больших цикла, когда температура и влажность находились в противоположных фазах (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2. Динамика температуры и влажности почвы (0–5 см) – т. 5 (а) и антропогенно измененной – т. 6 (б)

В первый цикл, продолжающийся с 1987 до 2001 г., влажность колебалась в интервале от 10 до 60 %, а температура – от 15 до 29 °С. Следующий цикл начался с 2001 г. и продолжается по настоящее время. Подобные циклы были выявлены при ранее проведенных исследованиях [5–7]. Следует отметить, что обнаружена большая амплитуда колебаний (влажность от 6 до 59 %). Значений ниже влажности завядания во втором цикле больше (2005, 2008 и 2012 гг.). Температурная кривая второго цикла имеет более плавный вид, амплитуда колебаний от 12 до 25 °С. Подобные явления выявлены и другими авторами [8].

Почвы антропогенной модификации слабовыщелоченного среднемощного чернозема не выявили четких температурных циклов. Интервал колебаний – температура почвы за все время наблюдений изменялась от 17 до 29 °С. В пахотном слое усиливалось летнее прогревание, увеличивалась амплитуда изменений колебаний влажности (от 5 до 50 %). Расход влаги в верхней части профиля был более интенсивный, что объясняется физическим испарением с поверхности поля и потреблением влаги корнями культурных растений.

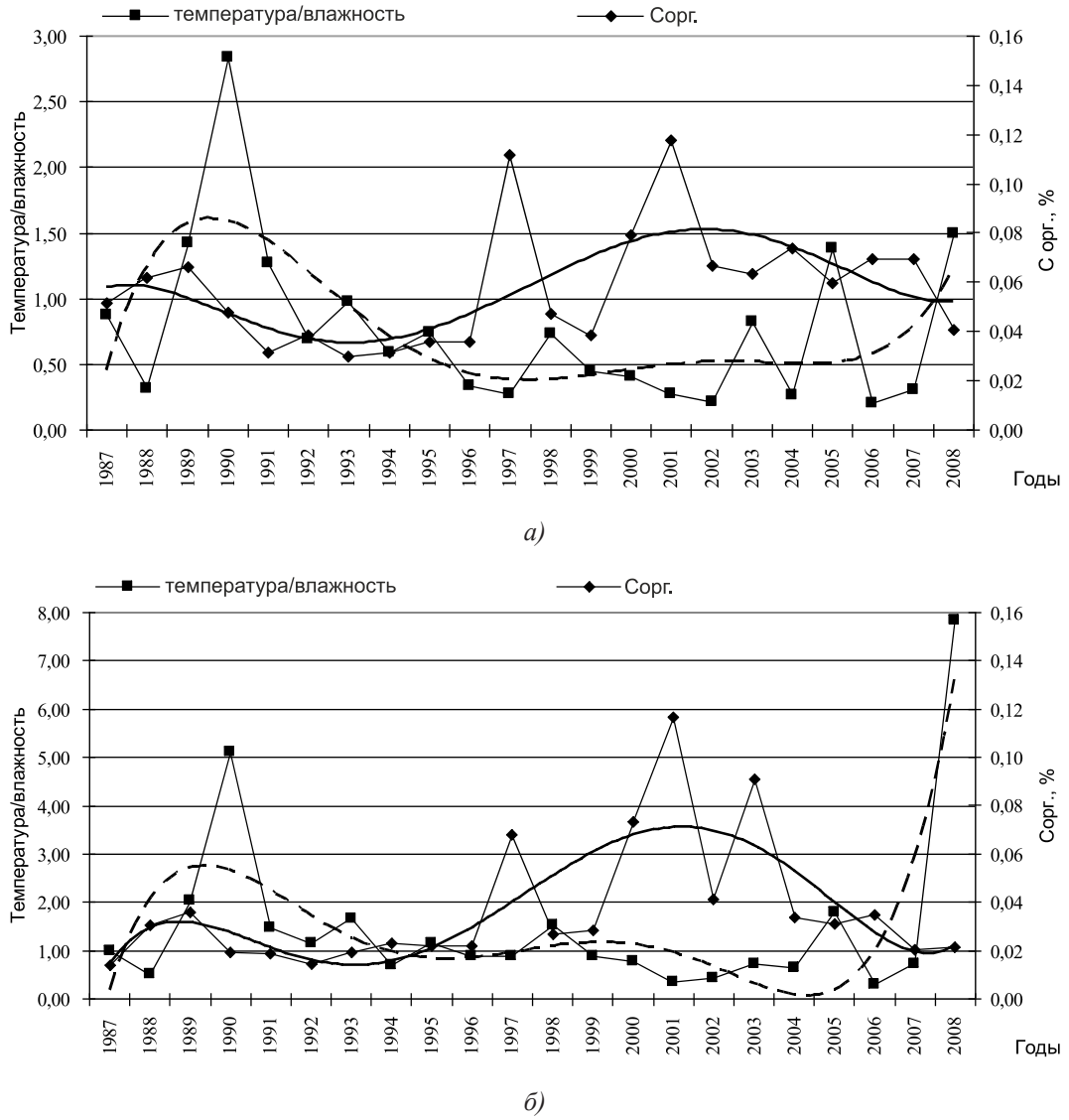


Рис. 3. Динамика гидротермических показателей (отношение температуры/влажности) в слое (0–5 см) – т. 5 (а), антропогенно измененной – т. 6 (б) и органического углерода

Почвы, находящиеся в сельскохозяйственном использовании, испытывают интенсивное воздействие агротехнических мероприятий, приводящих к существенному изменению физико-химических и водно-физических свойств. Температура поверхности чернозема слабовыщелоченного (т. 5) в естественных условиях на 1,5–2,5 °С ниже, чем пашни, с глубиной отличие усиливается – на 10 см до 3,5 °С.

В режиме динамики мобильных форм углерода и влажности естественной почвы установлены закономерности, так, максимальные запасы влаги в слое 0–50 см зафиксированы в 1997 г. (1964 т/га), а минимальные – в 1989 (96 т/га). В последние годы запасы влаги в слое 0–50 см остаются на достаточно высоком уровне. Антропогенная модификация естественной почвы выявила следующие закономерности: максимальные запасы влаги в слое 0–50 см – также в 1997 г., но в последующие годы запасы влаги стабильно больше, чем в естественных условиях, что, возможно, связано с посевными культурами и обработкой почвы. Максимальные значения водорастворимого органического углерода чернозема слабовыщелоченного установлены в 1989, 1997, 2001, 2004, 2006 и 2007 гг., минимальные – в 1991, 1992, 1993 (рис. 3). В последующее время значения держатся на относительно высоком уровне. Для пашни характерны следующие показатели: максимальные кон-

центрации мобильного органического установлены в 1989, 1997, 2001 и 2003 гг., минимальные – в 1987, 1992, 1996 и 2008 гг.

Известно, что почва обладает инерционными свойствами и эффектом последействия, которые многие авторы связывают с предшествующими сезонными фазами. В нашем случае это эффект от предшествующих экстремальных по гидротермическим условиям лет.

Так, 1988, 1996, 2001, 2004, 2006, 2007, 2010 и 2011 гг. были экстремальными по высокому содержанию влаги, пониженным температурам почвы и уменьшенному количеству водорастворимых форм углерода. Увеличение влажности способствует образованию подвижных форм органического вещества и его вымыванию за пределы почвенного профиля. Следующие, за перечисленными 1989, 1987, 1998, 2003, 2005, 2008, 2012 гг. – теплые с низким количеством осадков. Вследствие недостатка влаги произошло концентрирование в почвах мобильных соединений.

Для почвы, находящейся в постоянном сельскохозяйственном использовании (пашня) характерны те же закономерности, только гидротермические показатели более выражены (отношение температуры/влажности) имеют более высокие значения (от 0,4 до 7,8), а содержание водорастворимых форм углерода показывает меньшую амплитуду колебаний.

Заключение

В результате изучения гидротермических показателей естественных и антропогенно измененных почв Назаровской лесостепи Средней Сибири (на примере чернозема слабовыщелоченного среднемощного и его антропогенной модификации – пашни) установлено, что для почвы, находящейся в естественном состоянии, за время наблюдений выявлено два больших цикла, когда температура и влажность находились в противоположных фазах. Тогда как почва антропогенной модификации – пашни не выявила четких температурных циклов, что связано с регулярным механическим воздействием, приводящим к существенному изменению физико-химических и водно-физических свойств почвы.

Поскольку почва обладает инерционными свойствами и эффектом последействия, связанными с предшествующими сезонными фазами, выявлено, что 1988, 1996, 2001, 2004, 2006, 2007, 2010 и 2011 гг. были экстремальные по высокому содержанию влаги, пониженным температурам почвы и уменьшенному количеству водорастворимых форм углерода. Увеличение влажности содействует образованию подвижных форм органического вещества и его вымыванию за пределы почвенного профиля. Следующие за перечисленными 1989, 1987, 1998, 2003, 2005, 2008, 2012 гг. – теплые с низким количеством осадков. Вследствие недостатка влаги произошло концентрирование в почвах мобильных соединений. Антропогенно преобразованная почва обнаружила те же закономерности, что и природный аналог, только гидротермические показатели (отношение температуры/влажности) имеют более высокие значения (от 0,4 до 7,8), а содержание водорастворимых форм углерода показывает меньшую амплитуду колебаний.

Список литературы / References

1. Глазовская М.А. Биогеохимическая организованность экологического пространства в природных и антропогенных ландшафтах как критерий их устойчивости // Известия РАН. Серия географическая. 1992. № 5. С. 5–12.

Glazovskaya M.A. Biogeochemical organization of ecological space in natural and man-made landscapes as a criterion of their stability // Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya. 1992. № 5. P. 5–12 (in Russian).

2. Давыдова Н.Д. Геосистемный подход в изучении природных и антропогенно-нарушенных комплексов // Вестник ТГУ. 2014. Т. 19. № 5. С. 1507–1511.

Davydova N.D. Geosystem Approach in the Study of Natural and Man-Made-Disturbed Complexes // Vestnik TGU. 2014. V.19. № 5. P. 1507–1511 (in Russian).

3. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2014 году. Красноярск, 2015. 297 с.

State Report on the State and Protection of the Environment in Krasnoyarsk Krai in 2014. Krasnoyarsk, 2015. 297 p. (in Russian).

4. Пушкарев В. Эксперты NASA назвали 2017 год одним из самых жарких за 138 лет наблюдений. Жарче было только в 2016-м // Комсомольская правда. 19.01.18. [Электронный ресурс]. URL: https://www.ufa.kp.ru/daily/26784.7/3817629/ (дата обращения: 01.07.2019).

Pushkarev V. NASA experts named 2017 one of the hottest observations in 138 years. It was hotter only in 2016 // Komsomol'skaya pravda. 19.01.18. [Electronic resource]. URL: https://www.ufa.kp.ru/daily/26784.7/3817629/ (date of access: 01.07.2019) (in Russian).

5. Vorobyeva I.B. Changes in the Southern Siberian Forest-Steppes / Eurasian Steppes. Ecological Problems and Livelihoods in a Changing World, Plant and Vegetation 6. Netherlands. Springer Science Business Media B.V. 2012. Volume 6. P. 425–444. DOI: 10.1007/978-94-007-3886-7_16.

6. Коломыц Э.Г. Локальные механизмы глобальных изменений природных экосистем. М.: Наука, 2008. 427 с.

Kolomyts E.G. Local mechanisms of global changes of natural ecosystems. M.: Nauka, 2008. 427 p. (in Russian).

7. Котляков В.М. О причинах и следствиях современных изменений климата // Солнечно-земная физика. 2012. № 21. С. 110–114.

Kotlyakov V.M. On causes and effects of current climate changes // Solnechno-Zemnaya Fizika. 2012. № 21. P. 110–114 (in Russian).

8. Базыкина Г.С., Овечкина С.В. Влияние цикличности на водный режим и карбонатный профиль черноземов центра Европейской части России и сопредельных территорий // Почвоведение. 2016. № 4. С. 475–488. DOI: 10.7868/S0032180X1604002X.

Bazykina G.S., Ovechkin S.V. The influence of climate cycles on the water regime and carbonate profile in chernozems of Central European Russia and adjacent territories // Eurasian Soil Science. 2016. Т. 49. № 4. P. 437–449. DOI: 10.1134/S1064229316040025.

УДК 556.31:543.38(282.247.416.24)

ОРГАНИЧЕСКИЕ ПРИМЕСИ В ПОДЗЕМНЫХ И ПИТЬЕВЫХ ВОДАХ ГОРОДА СУРГУТА ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

Гузняева М.Ю., Туров Ю.П.

БУ ВО «Сургутский государственный университет», Сургут, e-mail: marina_tom@rambler.ru

Исследован молекулярный состав органических примесей в органических экстрактах из проб подземных и питьевых вод на территории г. Сургута Ханты-Мансийского автономного округа в отсутствие аварийных разливов нефти. Исследования проведены с использованием аттестованных методик и высокоэффективных аналитических методов – жидкостной, газо-жидкостной хроматографии и хроматомасс-спектрометрии. Во всех экстрактах присутствуют парафины, нафтены, ароматические углеводороды, фенолы, органические кислоты и их эфиры. Суммарное содержание нормируемых классов соединений в пробах подземных вод не превышает санитарных норм для питьевых вод. Среди представителей нефтяных углеводородов преобладают парафины с максимумом молекулярно-массовых распределений в интервале C_{29}-C_{33}. Преобладание в органических экстрактах малорастворимых в воде веществ объяснено как следствие известных в гидрогеологии особенностей поведения системы «вода – горные породы» в районах с повышенным содержанием органики в породах и процессов переноса высокомолекулярной органики из богатых органическими веществами пород в воды в форме поровых растворов. Необычно высокая растворяющая способность поровых вод приводит к появлению водорастворимых форм высокомолекулярного органического вещества, определяющих качество подземных и получаемых из них питьевых вод в районе работ. Полученные данные свидетельствуют о том, что большая часть органических примесей приходит не с поверхности земли за счет фильтрации загрязняющих веществ и не является следствием водонефтяных контактов естественного и техногенного происхождения в недрах. Это результат процессов в неравновесной системе «вода – горные породы», которая обладает рядом фундаментальных свойств и способна к самоэволюции и самоорганизации, непрерывному усложнению и генерации новых вторичных продуктов.

Ключевые слова: подземные воды, питьевые воды, органические примеси, углеводороды, система «вода – горные породы»

ORGANIC IMPURITIES IN UNDERGROUND AND DRINKING WATERS OF SURGUT CITY OF KHANTY-MANSIYSK AUTONOMOUS OKRUG

Guznyaeva M.Yu., Turov Yu.P.

Surgut State University, Surgut, e-mail: marina_tom@rambler.ru

The molecular composition of organic impurities in organic extracts from samples of groundwater and drinking water in the territory of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug (Surgut city) in the absence of oil spills was studied. The studies were carried out using certified techniques and highly effective analytical methods – liquid, gas-liquid chromatography and gas chromatography-mass spectrometry. Paraffins, naphthenes, aromatic hydrocarbons, phenols, organic acids and ethers were defined in all water samples. The total content of compounds in groundwater samples does not exceed sanitary standards for drinking water. Paraffins with a maximum of molecular weight distributions in the range C_{29}-C_{33} are dominated. The predominance of water-poorly soluble substances is explained as a consequence of the peculiarities of the behavior of the «water-rock» system in hydrogeology in rocks with a high organic content and the processes of transfer of high molecular weight organics from rocks to water in the form of pore solutions. The unusually high dissolving ability of pore water leads to the appearance of water-soluble forms of high molecular weight organic matter that determine the quality of groundwater and drinking water obtained from them. The data obtained indicate that most of the organic impurities do not come from the surface of the earth due to the filtering of pollutants, and is not a consequence of the oil-water contacts of natural and technogenic origin in the underground horizons. This is the result of processes in the nonequilibrium «water-rock» system, which has a number of fundamental properties and is capable of self-evolution and self-organization and generation of new secondary products.

Keywords: underground water, drinking water, organic impurities, hydrocarbons, «water – rocks» interaction

Проблемы оценки, нормирования, контроля качества водных ресурсов, питьевой воды и прогноз их изменений – это крупные государственные проблемы, связанные с обеспечением здоровья и благополучия населения как отдельных городов, так и целых регионов со всеми вытекающими социальными, экономическими и экологическими последствиями.

Но универсального рецепта – ни по выбору технологий водоподготовки, ни по системе контроля режимов эксплуатации водозаборов и контролю изменений качества питьевой воды – не существует и быть не может вследствие разнообразия условий создания водозаборов, в том числе на базе подземных вод (гидрогеологические условия залегания, специфика техногенной нагрузки, близость месторождений полезных ископаемых, в том числе нефтяных и газовых месторождений).

Основными отраслями промышленности на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (ХМАО-Югры)

является добыча и переработка нефти. Несмотря на высокую обеспеченность этого региона водными ресурсами, здесь остро возникает проблема их качественного истощения вследствие загрязнения. Концентрации загрязняющих веществ могут многократно превышать естественный (природный) фон, нарушая функционирование экосистем [1]. Территории, в недрах которых находятся концентрированные скопления углеводородов – нефтяные и газовые месторождения – имеют ряд особенностей. Причиной является способность легких углеводородов и наиболее растворимых в воде других нефтяных компонентов хотя бы в малых количествах преодолевать кажущиеся надежными геологические барьеры – водоупорные горизонты и газонепроницаемые в макромасштабе слои земной коры. Эти явления лежат в основе гидрохимических и атмохимических методов поиска нефтяных и газовых месторождений, когда по присутствию и составу даже микроскопических примесей углеводородов в природных водах и приземных слоях атмосферы судят о наличии в недрах соответствующей территории скоплений углеводородов [2, 3]. В данной работе исследован состав органических примесей в подземных водах, используемых для питьевого водоснабжения, и качество получаемых питьевых вод, в том числе для прогноза их изменений.

Цель исследования: изучение особенностей химического состава органических примесей в подземных и питьевых водах водозаборов на территории ХМАО-Югры и наиболее вероятных путей их поступления в воды.

Материалы и методы исследования

Для питьевого водоснабжения большинства населенных пунктов ХМАО-Югры используют в основном подземные воды атлым-новомихайловского водоносного горизонта Западно-Сибирского артезианского бассейна. По общим характеристикам состава они принадлежат к категории пресных и ультрапресных вод (суммарное содержание минеральных примесей $\leq 0{,}200$ г/л) с повышенным содержанием соединений железа и гуминовых веществ [4].

Исследование состава органических примесей проведено с использованием аттестованных методик, включающих экстракционное извлечение органических веществ из проб воды хлороформом при различных pH среды ($\geq 9{,}0$ и $\leq 2{,}0$) с последующим анализом состава полученных экстрактов методами хроматомасс-спектрометрии (ГХ/МС) [5]. Количественные расчеты проведены методом внутреннего стандарта, в качестве которого использовали дейтероаценафтен $C_{12}D_{10}$.

Исследования проводили с использованием хроматомасс-спектрометра Shimadzu GCMS-TQ8040 (Япония), оснащенного источником электронной ионизации (EI). Условия анализа: кварцевая капиллярная колонка 30 м× 0,25 мм × 0,32 мкм с неподвижной фазой SGE-5. Температурная программа: 50 °C (2 мин) → 290 °C (4 °C/мин), плато при 290 °C (20 мин). Температура инжектора 250 °C, интерфейса – 250 °C, ионизация электронным ударом при энергии электронов 70 эВ, в режиме сканирования полных масс-спектров в интервале 30–450 Да, 3 скана/с. Газ-носитель – гелий, 0,5 мл/мин. Калибровку хроматографической системы осуществляли с использованием смеси *н*-алканов C_6–C_{40}. Идентификацию компонентов проводили по индексам удерживания Ковача, с использованием спектро-структурных корреляций, приемов селективного ионного детектирования и методом библиотечного поиска с использованием библиотеки масс-спектров NIST’17.

Результаты исследования и их обсуждение

Затраты на доведение показателей качества исходной воды до кондиционных в соответствии с гигиеническими или технологическими нормативами зависят прежде всего от качества исходной воды – от компонентного состава и концентрации примесей в ней. В зависимости от состава загрязняющих веществ в исходной воде и нормативных требований к составу очищенной выбирают (или, во всяком случае, рекомендовано выбирать) и технологию водоподготовки.

В исследованных экстрактах идентифицированы и определены содержания более чем 300 представителей насыщенных и ароматических углеводородов, кислот, фенолов, альдегидов и других классов органических соединений. В таблице приведен перечень идентифицированных веществ и усредненные по восьми проботборам характеристики состава органических примесей в питьевых водах г. Сургута и в подземных водах, использованных для получения питьевых. В раздел «Прочие вещества» внесены соединения, которые идентифицированы в более чем 75 % проб. Во всех образцах отмечено повышенное содержание гуминовых веществ, содержание которых достигает 15–20 мг/л. Для всех проб воды наблюдается относительное

постоянство состава органики – вариации содержаний идентифицированных веществ в разных пробах не превышали 10–15 % отн. Содержания идентифицированных веществ в исследованных пробах воды значений ПДК не превышают.

При сопоставлении состава проб воды до и после процедур водоподготовки можно отметить, что используемые процессы водоочистки (аэрация воды с последующим фильтрованием) не очень эффективны по отношению к органическим примесям – их содержания снижаются незначительно, но для основной части веществ выходят за интервал погрешностей воспроизводимости.

Во многих литературных источниках сведения о составе органических примесей в подземных водах чрезвычайно лаконичны – за пределами зон локальных аварийных загрязнений они исчерпываются упоминанием о летучих фенолах и углеводородах, которые осторожно квалифицируют как «углеводороды, близкие по составу к нефтепродуктам» [6].

Органические примеси в питьевых и подземных водах

Наименование вещества	Химическая формула	Содержание примесей, мкг/дм^3	
		Водопроводная вода	Подземные воды
1	2	3	4
Парафины			
Всего парафинов $C_{10}H_{22}$:$C_{19}H_{40}$		0,809	0,969
Всего парафинов $C_{20}H_{42}$:$C_{40}H_{82}$		12,043	14,395
Ароматические углеводороды			
Ксилолы: o-	C_8H_{10}	0,002	0,002
m-	C_8H_{10}	0,003	0,002
p-	C_8H_{10}	0,006	0,004
Другие алкилбензолы		0,001	0,001
Нафталин		0,009	0,006
Алкилнафталины		0,014	0,010
Сумма ПАУ		0,023	0,016
Всего ароматических углеводородов		0,036	0,025
Фенол		0,360	0,199
Крезолы		0,656	0,409
Прочие фенолы		0,012	0,007
Сумма фенолов		1,028	0,615
Карбоновые кислоты			
Сумма кислот C_5:C_{20}		14,114	11,206
Пальмитамид	$C_{16}H_{33}NO$	0,027	0,024
Стеароамид	$C_{18}H_{37}NO$	0,019	0,018
Другие амиды		0,006	0,005
Сумма амидов		0,052	0,047
Фталаты			
Диэтилфталат	$C_{12}H_{14}O_4$	0,027	0,017
Дибутилфталат	$C_{16}H_{22}O_4$	0,179	0,103
Диизоктилфталат	$C_{22}H_{34}O_4$	0,935	0,566
Сумма фталатов		1,141	0,687
Прочие вещества			
Бензтиазол	C_7H_5NS	0,011	0,005
Триэтилфосфат	$C_6H_{15}O_4P$	0,028	0,008
Дифениловый эфир	$C_{12}H_{10}O$	0,019	0,011
Дибутилсебакат	$C_{18}H_{34}O_4$	0,253	0,165
Дитретбутил бензохинон	$C_{14}H_{20}O_2$	0,008	0,006

Примечание. Предел обнаружения – 0,001 мкг/дм^3. Воспроизводимость ± 10 % отн.

Из таблицы следует, что основная масса идентифицированных органических примесей как в подземных, так и питьевых водах представлена парафинами. При характеристике состава как сырой нефти, так и нефтяных загрязнений в водах принято условно выделять низкомолекулярную составляющую (как суммарное содержание углеводородов с числом атомов углерода в молекуле не более 19) и высокомолекулярную – с числом атомов углерода в молекуле 20 и более.

На рис. 1 представлен пример хроматограммы экстракта органических примесей из пробы питьевой воды. В исследованных образцах подземных и получаемых из них питьевых вод при детализации состава органических примесей отмечается преобладание высокомолекулярных парафинов с максимумами молекулярно-массовых распределений в области 350–400 а.е.м. (в области $C_{28} \div C_{32}$) и простирающимися до 560 а.е.м. (до C_{40}) (рис. 1). Характерной особенностью наблюдаемого углеводородного состава как для подземных, так и питьевых вод является отсутствие легких парафинов и других классов углеводородов (молекулярно-массовые распределения начинаются с углеводородов C_{10}–C_{14}).

Относительные содержания легких парафинов (до C_{20}) в подземных водах малы, и составляют не более 3–7 % от суммарного их содержания в экстракте, несмотря на их более высокую растворимость в воде и то, что относительные содержания этих легких углеводородов во всех исследованных нами образцах сырой нефти месторождений ХМАО-Югры составляют от 20 до 75 % отн. [7, 8].

На рис. 2 приведено сопоставление относительной распространенности парафинов в образце нефти одной из скважин Западно-Сургутского месторождения и в экстракте из пластовой воды этой же скважины – преобладание легких углеводородов над тяжелыми в нефти сохраняется и в экстракте из воды, находящейся в контакте с нефтью.

Если дополнительно учесть большую подвижность и лучшую (по сравнению с более высокомолекулярными представителями) растворимость легких парафинов в воде [9], то наблюдаемую картину трудно объяснить фильтрацией углеводородов с поверхности или из нефтеносных горизонтов в зонах с многочисленной перфорацией водоупоров в районе активной нефтедобычи. Следовательно, появление углеводородов в подземных и питьевых водах является следствием не водонефтяного контакта, а других процессов. Например, процессов взаимодействия в системе «вода – вмещающие породы» с высоким содержанием рассеянного органического вещества (РОВ) в нефтегазоносных регионах. В экстракты органических примесей из воды «тяжелые» углеводороды и основная масса других веществ, вероятно, попадают в результате частичного разрушения растворимых в воде высокомолекулярных гуминовых веществ в процессе получения экстрактов.

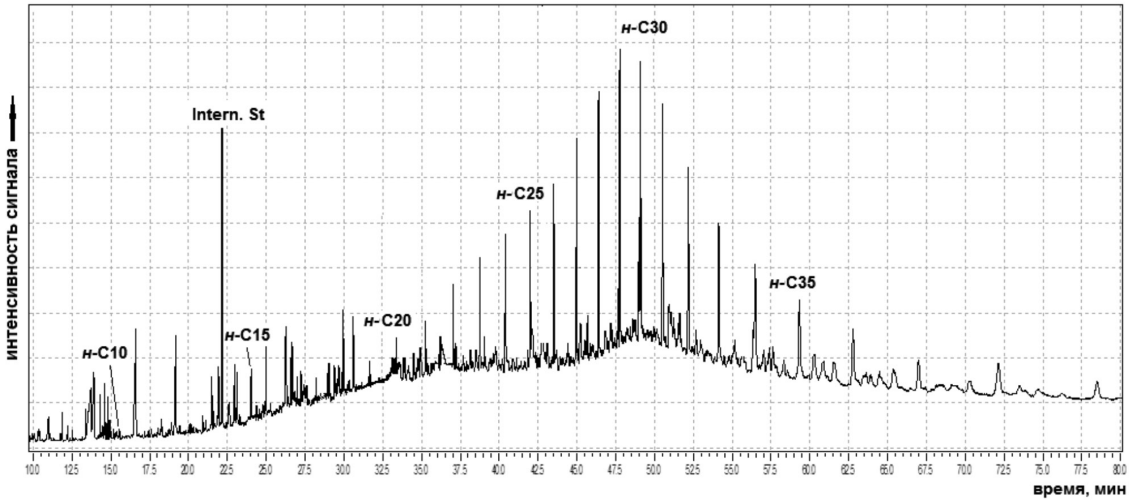


Рис. 1. Пример хроматограммы по полному ионному току экстракта органических примесей из пробы питьевой воды в системе водоснабжения г. Сургута (помечены пики нормальных парафинов и внутреннего стандарта)

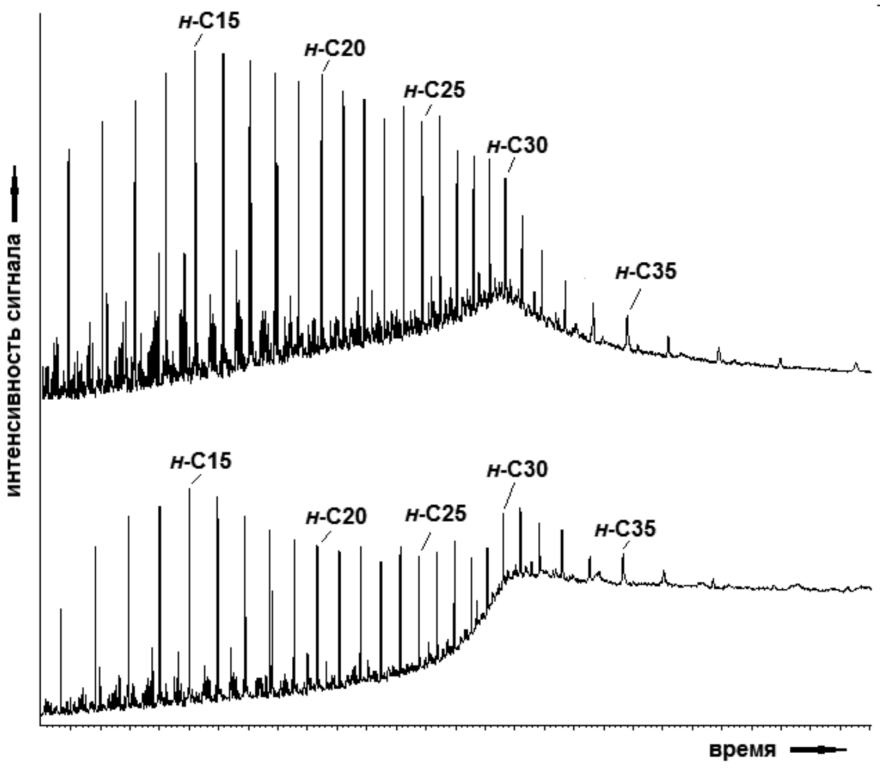


Рис. 2. Хроматограммы по полному ионному току образца нефти (вверху) и экстракта органических примесей из пробы находящейся в контакте с ней пластовой воды (внизу)

Следующий по распространенности класс органических примесей – карбоновые кислоты. Наблюдается близость компонентного состава в исходных подземных водах и полученных из них питьевых. Незначительное увеличение содержаний кислот в процессе водоподготовки можно объяснить возможными окислительными реакциями при интенсивной аэрации воды. Но остается открытым вопрос о том, какие компоненты подверглись окислению, ведь низкомолекулярных примесей, способных участвовать в реакциях окисления, в исходных подземных водах не обнаружено.

Аналогичная картина отмечается и для фенолов. Содержание фенолов в исследованных образцах вод невелико, не превышает нормативов ПДК и увеличивается в процессе водоподготовки. Концентрации ароматических углеводородов, представленных алкилбензолами и нафталинами, незначительны, их содержания далеки от нормативных ограничений, номенклатура их невелика. Обращает на себя внимание тот факт, что содержания ароматических углеводородов увеличиваются в процессе водоподготовки. Если исключить возможность дополнительного загрязнения за счет вымывания ароматики из материалов, с которыми вода контактирует в процессе водоподготовки, то в качестве наиболее вероятного дополнительного источника этого класса примесей в питьевой воде следует рассматривать воздух для аэрации, в котором они могут присутствовать, так как водозаборы в г. Сургуте расположены на территории города вблизи автомагистралей с интенсивной транспортной нагрузкой. Аналогичную картину наблюдали в г. Стрежевом (Томская область), где содержание полициклических углеводородов в воде увеличивалось в процессе водоподготовки [10].

Следует отметить постоянство наблюдаемой картины состава органических примесей в подземных и получаемых из них питьевых водах региона – присутствие и даже преобладание в экстрактах из воды веществ, практически не растворимых в воде высокомолекулярных парафинов. В соответствии с законами физической химии в составе подземных вод наиболее вероятным должно быть присутствие тех органических веществ, которые обладают наибольшей растворимостью. Однако в публикациях научной школы С.Л. Шварцева было показано, что воду, находящуюся в контакте

с горными породами, нельзя рассматривать как инертный «растворитель», обоснована необходимость учета неравновесного характера системы «вода – горные породы». Было установлено, что эта система обладает рядом специфических фундаментальных свойств и способна к самоэволюции и самоорганизации, сформулирована необходимость учета участия органического вещества пород в этих процессах и рассмотрены основы геохимии органогенных типов подземных вод [11, 12].

Термодинамически неравновесный характер взаимодействий в системе «вода – вмещающие породы» и специфические формы нахождения воды (так называемые «поровые воды») могут приводить к транспорту высокомолекулярных веществ из богатых органикой пород в подземные воды [13]. Тогда особенности состава органических примесей в хлороформенных экстрактах из проб воды можно объяснить результатом частичного разрушения этой изначально термодинамически неравновесной системы под действием внешних факторов на этапах пробоподготовки – изменения pH среды от исходной (естественной) на первом этапе до $pH \geq 9$ и на втором – до $pH \leq 2$. При этом на каждом этапе компоненты системы подвергаются дополнительному воздействию со стороны молекул экстрагента – хлороформа.

Термодинамическая неравновесность исходной системы предполагает возможность резкого изменения состояния системы (ее перестройки) и под действием слабых внешних факторов [14], которыми в данном случае являются изменения pH среды и контакт с молекулами экстрагента. Похожий состав органических примесей в водах наблюдается для близких к Сургутскому району территорий – г. Ханты-Мансийска и г. Стрежевого [10].

Заключение

Таким образом, качество воды в исследованных пробах воды удовлетворяет санитарным нормативам, а органические примеси в подземных водах района работ появляются не за счет фильтрации нефтяных компонентов из нефтеносных горизонтов, а являются результатом процессов в неравновесной системе «вода – горные породы».

Преобладание в органических экстрактах из подземных и питьевых вод малорастворимых в воде веществ является следствием известных в гидрогеологии термодинамической неравновесности и особенностей поведения системы «вода – горные породы» в районах с повышенным содержанием органики в породах. Поэтому наиболее вероятными причинами появления парафинов и других органических веществ в подземных водах изученного нефтедобывающего региона являются не последствия водонефтяных контактов и просачивания компонентов нефти в водоносные горизонты из-за нарушений технологии нефтеизвлечения, а процессы переноса высокомолекулярной органики из богатых органическими веществами пород в воды в форме поровых растворов. Особые свойства поровых вод и их необычно высокая растворяющая способность приводят к появлению в подземных водах водорастворимых форм высокомолекулярного органического вещества, вследствие частичной деструкции которых в хлороформенные экстракты попадают высокомолекулярные парафины с низкой растворимостью в воде.

Список литературы / References

1. Хорошавин В.Ю., Моисеенко Т.И. Вынос нефтяных углеводородов реками с территорий нефтегазодобывающих районов севера Западной Сибири // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 5. С. 518–529. DOI: 10.7868/S0321059614050046 .

Khoroshavin V.Yu., Moiseenko T.I. Petroleum hydrocarbon runoff in rivers flowing from oil-and-gas-producing regions in Northwestern Siberia. Water Resources. 2014. T. 41. № 5. P. 532–542. DOI: 10.1134/S0097807814050030 .

2. Lord B. Remote sensing techniques for onshore oil and gas exploration. The Leading Edge. 2017. Vol. 36. Iss. 1. P. 24–32. DOI: 10.1190/tle36010024.1.

3. Ouko C., Mutua F., Mwaniki M. A Pre-exploration technique for mapping petroleum potential areas based on induced surface alterations and possible Traps. Universal Journal of Geoscience. 2018. Vol. 6. No. 5. P. 158–174. DOI: 10.13189/ujg.2018.060503.

4. Пятин В.Ф., Бурыкин Ю.Г., Корчина Т.Я., Филатова О.Е. Системный анализ параметров аттракторов вектора состояния системы химического состава питьевой воды ХМАО-Югры // Вестник новых медицинских технологий. 2009. Т. 16. № 2. С. 234–237.

Piatin V.F., Burykin Iu.G., Korchina T.Ia., Filatova O.E. System analysis of the parameters of the attractors of the vector of the state of the system of the chemical composition of drinking water in KMAO-Ugra // Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii. 2009. T. 16. № 2. P. 234–237 (in Russian).

5. МУК 4.1.663-97 Определение массовой концентрации органических соединений в воде методом хромато-масс-спектрометрии. Методические указания. 4.1. Методы контроля. Химические факторы. М.: Минздрав России, 1997. 40 с.

6. Сомин В.А., Заносова В.И., Комарова Л.Ф. Актуальные проблемы качества поверхностных и подземных вод Алтайского края и возможные пути их решения // Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 1. С. 70–78. DOI: 10.7868/S0321059616010144 .

Somin V.A., Zanosova V.I., Komarova L.F. Urgent problems of surface and subsurface water quality in Altai krai and possible ways of their solution. Water Resources. 2016. T. 43. № 1. P. 121–128. DOI: 10.1134/S0097807816010139.

7. Лазарев Д.А., Муравская Ю.А., Гузняева М.Ю., Туров Ю.П. Углеводородный состав нефтей некоторых место-

рождений Ханты-Мансийского автономного округа // Успехи современного естествознания. 2016. № 9. С. 126–130.

Lazarev D.A., Muravskaia Iu.A., Guzniaeva M.Iu., Turov Iu.P. Hydrocarbon composition of oils of some deposits of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug // Advances in Current Natural Sciences. 2016. № 9. P. 126–130 (in Russian).

8. Гусейнова Н.О., Гузняева М.Ю. Насыщенные углеводороды в образцах нефти ХМАО-Югры // Актуальные проблемы научного знания. Новые технологии ТЭК-2017: материалы I Международной научно-практической конференции (г. Тюмень, 21–22 апреля 2017 г.). Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2017. С. 28–34.

Guseinova N.O., Guzniaeva M.Iu. Saturated hydrocarbons in oil samples of KMAO-Ugra // Aktual'nye problemy nauchnogo znaniia. Novye tekhnologii TEK-2017: materialy I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii (g. Tjumen', 21–22 aprelja 2017 g.). Tiumen': Tiumenskii industrial'nyi universitet, 2017. P. 28–34 (in Russian).

9. Moore J.W., Ramamoorthy S. Organic Chemicals in Natural Waters. Applied Monitoring and Impact Assessment. New York: Springer-Verlag, 1984. 289 p.

10. Туров Ю.П., Гузняева М.Ю. Нефтяная система – строение, свойства, поведение. Сургут: Печатный мир г. Сургут, 2017. 286 с.

Turov Iu.P., Guzniaeva M.Iu. Petroleum system – structure, properties, behavior. Surgut: Pechatnyi mir g. Surgut, 2017. 286 p. (in Russian).

11. Алексеев В.А., Рыженко Б.Н., Шварцев С.Л. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода-порода. Т.1. Система вода-порода в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование. Новосибирск: СО РАН, 2005. 244 с.

Alekseev V.A., Ryzhenko B.N., Shvartsev S.L. Geological evolution and self-organization of the water-rock system. T.1. The water-rock system in the earth's crust: interaction, kinetics, equilibrium, modeling. Novosibirsk: SO RAN, 2005. 244 p. (in Russian).

12. Шварцев С.Л., Рыженко Б.Н., Алексеев В.А. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода-порода: Система вода-порода в условиях зоны гипергенеза. Новосибирск: СО РАН, 2007. Т. 2. 389 с.

Shvartsev S.L., Ryzhenko B.N., Alekseev V.A. Geological evolution and self-organization of the water-rock system: Water-rock system under conditions of a hypergenesis zone. Novosibirsk: SO RAN, 2007. Vol. 2. 389 p. (in Russian).

13. Абукова Л.А., Абрамова О.П. Влияние поровых вод тонкодисперсных отложений на экологическое состояние гидросферы в условиях нефтегазового техногенеза // Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 4. С. 431–441. DOI: 10.7868/S0321059616040027 .

Abukova L.A., Abramova O.P. Effect of pore water of fine sediments on the ecological conditions of hydrosphere under oil-and-gas technogenesis conditions. Water Resources. 2016. T. 43. № 4. P. 668–676. DOI: 10.1134/S0097807816040023 .

14. Kjelstrup S., Bedeaux D. Non-equilibrium thermodynamics of heterogeneous systems: Series on Advances in Statistical Mechanics. USA: World Scientific Publishing, 2008. Vol. 16. 434 p. DOI: 10.1142/6672.

УДК 550.461(511.33)

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУР ЦИРКУЛЯЦИИ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ПРОВИНЦИИ ЦЗЯНСИ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОТЕРМОМЕТРОВ

[1,2]Зиппа Е.В., [1]Гусева Н.В., [3]Сунь Чж., [3]Чень Г.

[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск;
[2]Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Томск, e-mail: zev-92@mail.ru;
[3]Восточный Китайский технологический университет, Наньчан, провинция Цзянси

В работе представлены результаты расчетов глубинных температур азотных термальных вод провинции Цзянси. Показано, что азотные термальные воды являются пресными, минерализация меньше 0,5 г/л. При этом термы являются слабощелочными и щелочными, pH изменяется от 8,50 до 9,25. По химическому составу азотные термы относятся в основном к гидрокарбонатному натриевому типу, реже – к гидрокарбонатно-сульфатному натриевому. Для оценки температур глубины циркуляции были использованы Si- и Na/K-геотермометры. Результаты расчетов глубинных температур по Si-геотермометру при адиабатическом охлаждении составляют от 85 до 147 °C. Оценки температур по Si-геотермометру при кондуктивном охлаждении варьируют от 82 до 154 °C. Оценки температур по Na/K-геотермометрам составляют от ~80 °C до ~185 °C. Для оценки степени смешения термальных вод с холодными водами по мере миграции к зоне разгрузки была применена модель смешения Si-энтальпия. На диаграмме смешения (модель смешения Si-энтальпия) показано, что большая часть термальных вод является результатом смешения с грунтовыми водами или атмосферными осадками. В целом оцененные температуры с помощью модели смешения соответствуют значениям, полученным по Na/K-геотермометру, и составляют 113–155 °C. В результате исследования предпочтение при выборе метода расчета температур глубин циркуляции терм отдается Na/K-геотермометру, поскольку данный геотермометр в меньшей степени подвержен смешению и отражает реальные условия температурного режима. Таким образом, температуры азотных термальных вод на глубине циркуляции составляют 92–185 °C.

Ключевые слова: термальные воды, глубина циркуляции, глубинные температуры, геотермометры

ESTIMATION OF CIRCULATION TEMPERATURES OF THETMAL WATERS IN JIANGXI PROVINCE USING DIFFERENT GEOTHERMOMERERS

[1,2]Zippa E.V., [1]Guseva N.V., [3]Sun Zh., [3]Chen G.

[1]National research Tomsk Polytechnic University, Tomsk;
[2]Tomsk Branch of the Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics in the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, e-mail: zev-92@mail.ru;
[3]East China University of Technology, Nanchang, Jiangxi Province

The results of deep temperatures calculations of nitric thermal waters in Jiangxi Province are presented in the paper. It is shown that the thermal waters are fresh and have TDS lower than 0,5 g/L. In addition, the thermal waters are alkaline and alkaline, pH values range between 8,50 and 9,25. According to chemical composition the thermal waters belong to bi-carbonate sodium type, less to bi-carbonate-sulfate sodium type. The Si- and Na/K-geothermometers have been used for the deep temperatures estimation. The temperature calculated using the Si-geothermometer for adiabatic cooling range from 85 to 147 °C. The temperature calculated using the Si-geothermometer for conduction cooling changes from 82 to 154 °C. The Na/K-geothermometers shows temperatures from ~80 °C to ~185 °C. The Si-enthalpy mixing model was used to estimate the degree of mixing of thermal waters with cold waters during their migration to the discharge zone. According to the mixing diagram (Si-enthanphy), the majority of the thermal waters are the result of mixing with groundwater or atmospheric precipitation. In general, the estimated temperatures using the mixing diagram correspond to the values obtained using the Na/K geothermometer and range 113-155 °C. Eventually, choosing a method for calculating the temperatures of circulation depths the Na/K- geothermometer has more accuracy because the geothermometer data are less affected mixing and reflect the actual conditions of the temperature regime. Thus, the temperatures of nitric thermal waters at the circulation depth range 92-185 °C.

Keywords: thermal waters, circulation depth, circulation temperature, geothermometers

Провинция Цзянси расположена на юго-востоке Китая и характеризуется распространением термальных вод, которые активно используются местным населением в бальнеологических целях и в качестве альтернативного источника энергии. Широкое использование термальных вод в различных целях объясняет повышенное к ним внимание со стороны ученых. Наибольший интерес представляют механизмы и процессы формирования термальных вод. Как известно, температура термальных вод на поверхности отличается от температуры на глубине и является результатом охлаждения путем обмена теплом с горными породами по мере движения вод к местам разгрузки

или их разбавления более холодными грунтовыми водами и атмосферными осадками. Детальное исследование формирования термальных вод невозможно без восстановления условий протекания этих процессов, в частности без понимания температурного режима на глубине циркуляции. В этой связи целью настоящей работы является оценка глубинных температур термальных вод провинции Цзянси для дальнейшей разработки модели их формирования.

Материалы и методы исследования

В основу работы положены результаты гидрохимического опробования, проведенного в 2015 и 2017 гг. На месте отбора проб были определены pH и температура с помощью прибора AMTAST AMT03 (USA). Общий химический анализ проводился несколькими методами: HCO_3^-, CO_3^{2-} определялись методом титрования при помощи анализатора жидкости «Анион 7-51» (Россия); Ca^{2+} и Mg^{2+} – атомно-абсорбционным методом; Cl^-, F^-, SO_4^{2-}, Na^+, K^+ – методом ионнообменой хроматографии с использованием хроматографа ICS-00 «Dionex» (США). Содержание Si определялось с помощью современного высокочувствительного метода – масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой NexION 300D (PerkinElmer, USA). Анализы проводились проблемной научно-исследовательской лабораторией гидрогеохимии Национального исследовательского Томского политехнического университета (г. Томск) и Центром химического анализа и физических испытаний Восточного Китайского технологического университета (г. Наньчан, Китай).

Для оценки глубинных температур использованы различные геотермометры, представляющие собой эмпирические и расчетные соотношения, связывающие пластовую температуру и концентрацию или отношения концентрации следующих растворенных компонентов: Si, Na/Li, Mg/Li, Na/K, Na-K-Ca [1].

В работах [2, 3] предложены несколько расчетных формул оценки температуры на глубине по содержанию кремния, основывающиеся на изменении растворимости SiO_2 в зависимости от температуры. Для расчета глубинных температур исследуемых вод использованы формулы Si-геотермометров с учетом форм кремнезема (кварц, кристобалит, халцедон, аморфный кремнезем) и диапазона температур.

Принимая во внимание то, что температура термальных вод провинции Цзянси меньше температуры кипения, а воды приурочены в основном к гранитным породам, для оценки температур на глубине применены кварцевые геотермометры при адиабатическом (1) и кондуктивном охлаждении раствора (2) [2]:

$$T,\ °C = 1522 / (5{,}75 - \log(SiO_2)) - 273{,}15, \quad (1)$$

$$T,\ °C = 1309 / (5{,}19 - \log(SiO_2)) - 273{,}15, \quad (2)$$

где SiO_2 – концентрация SiO_2 в мг/л.

Na-K-геотермометр меньше подвержен влиянию процессов кипения и охлаждения, поскольку используется не абсолютное значение (как в Si-геотермометре), а отношение концентраций. Расчет глубинных температур с помощью Na-K-геотермометров проведен по формулам

$$T, °C = [1217 / (1{,}483 + \log(Na / K))] - 273{,}15 \text{ [4]}, \quad (3)$$

$$T, °C = [1178 / (1{,}470 + \log(Na / K))] - 273{,}15 \text{ [5]}. \quad (4)$$

На территории провинции преимущественно распространены углекислые и азотные термальные воды, которые приурочены к глубинным разломам, развитым в разных геологических структурах. В настоящей работе рассмотрены только азотные термальные воды, в газовом составе которых азот составляет 95–99 об. % [6]. В геологическом отношении выходы азотных терм сложены преимущественно гранитами юрского возраста, в меньшей степени позднепротерозойского эона, а также кембрий-ордовикскими гранитами (Є-O) и каменноугольными и девонскими гранитоидами (C-D) [6].

Азотные термы провинции Цзянси характеризуются низкой величиной общей минерализации, до 0,5 г/л, при этом величина pH изменяется от 8,50 до 9,25. Температура терм варьирует от 27 до 83 °C. Среди анионов преобладающим является HCO_3^-, концентрации которого составляют 58–186 мг/л, в меньшей степени содержится SO_4^{2-} (11–104 мг/л) и Cl^- (1,5–6,7 мг/л). Среди катионов доминирующим является Na^+ (55–110 мг/л), содержания Ca^{2+}, K^+ и Mg^{2+} весьма низкие и не превышают 8,1 мг/л, 5,1 мг/л и 0,7 мг/л соответственно. По химическому составу рассматриваемая группа терм, в соответствии с классификацией С.А. Щукарева, относится к HCO_3-Na, либо HCO_3-SO_4-Na, лишь в единичном случае SO_4-HCO_3-Na (рис. 1). Кроме этого, состав рассматриваемых терм характеризуется повышенными концентрациями SiO_2 (32–134 мг/л) и F^- (2,8 до 15,6 мг/л) [6–8].

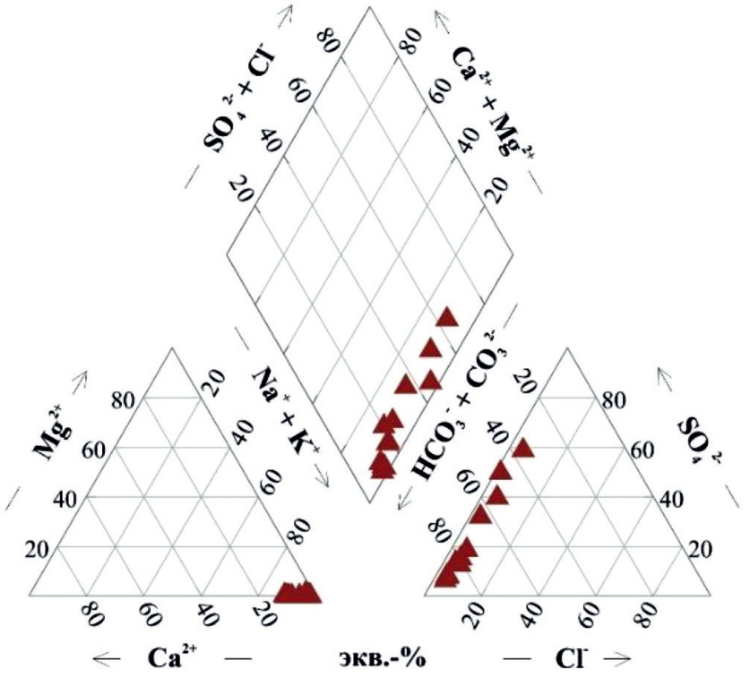


Рис. 1. Химические типы термальных вод провинции Цзянси

Таблица 1

Результаты расчетов глубинных температур по разным геотермометрам

Номер родника	$t_{разгрузки}$	$t(Si)_{кондук.}$	$t(Si)_{адиабат}$	t(Na/K) [4]	t(Na/K) [5]
17-2	27	86	89	92	82
17-8	59	82	85	145	134
15-7	38	117	115	127	116
15-9	82	146	140	185	172
L-5	69	118	117	107	96
L-2	65	131	128	127	116
L-3	65	118	117	92	82
L-1	71	125	122	108	97
17-7	55	129	125	162	150
15-10	41	143	137	139	128
17-6	54	124	122	138	126
15-8	83	154	147	172	182
Мин.	27	82	85	92	82
Макс.	83	154	147	185	182

Результаты исследования и их обсуждение

Глубинные температуры азотных термальных вод провинции Цзянси рассчитаны по разным геотермометрам. Результаты расчетов приведены в табл. 1 и несколько отличаются друг от друга.

Диапазоны температур, рассчитанных по кварцевому геотермометру при адиабатическом и кондуктивном охлаждении, незначительно отличаются. В первом случае рассчитанные температуры варьируют от 85 до 147 °С, во втором – от 82 до 154 °С. Температуры, оцененные с помощью Na/K-геотермометров несколько выше и изменяются в более широком диапазоне от ~80 °С до ~185 °С.

Сравнение полученных с помощью разных геотермометров результатов оценки глубинных температур азотных терм показывает хорошую корреляцию с измеренной температурой в местах выходов вод на поверхность (рис. 2).

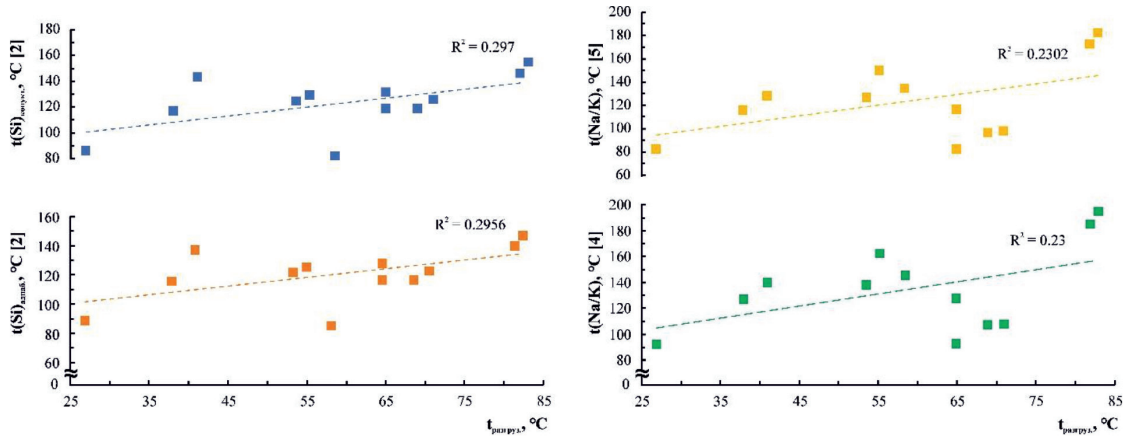


Рис. 2. Соотношение температуры разгрузки и глубинных температур азотных термальных вод провинции Цзянси, рассчитанных по разным геотермометрам

Наряду с этим, между температурами, рассчитанными по разным геотермометрам, также наблюдается прямая корреляция (рис. 3). Исключение составляют два родника (на рис. 3 выделены пунктирным овалом), которые выбиваются из общей тенденции взаимосвязи Si- и Na/K-геотермометров. Вполне вероятно, такие завышенные температуры, полученные по Na/K-геотермометрам, являются ошибочным результатом, ввиду пределов применения этого геотермометра, или, наоборот, заниженные температуры по Si-геотермометру можно объяснить смешением с более холодными водами по мере движения терм на поверхность.

Оценить степень смешения термальных вод с грунтовыми водами или атмосферными осадками и более точно определить глубинную температуру можно с помощью нанесения фигуративных точек на модель смешения Si-энтальпия [9–11]. Теоретически линия, проведенная из точки наиболее холодного компонента смешения (грунтовые воды или атмосферные осадки) через смешанные горячие воды (исследуемые родники) до пересечения с линией растворимости кварца, дает истинные содержания кремния и энтальпии термальных вод и называется линией смешения [2]. Кроме этого, при определении глубинной температуры с помощью Si-энтальпии диаграммы следует учитывать процесс кипения термальных вод, который сопровождается выделением пара. Если по мере движения терм на поверхность кипение терм не происходит до момента смешения с холодными водами, то точка пересечения линии смешения и кривой растворимости кварца дает значения энтальпии на глубине циркуляции. В случае, если кипение терм и, соответственно, выделение пара произошли до момента смешения, то из точки пересечения линии смешения и вертикали, относящейся к температуре кипения 100 °C (H = 419 Дж/г), проводится прямая, параллельная оси энтальпии, до пересечения с кривой растворимости при максимальной потере пара. Полученная точка пересечения отражает значения энтальпии и соответственно температуры на глубине циркуляции при заданных условиях. Для соотношения значений энтальпии и температуры использовали справочные данные [2].

Из рис. 4 видно, что по мере движения терм на поверхность большая часть родников в той или иной степени была подвержена смешению с более холодными водами. В случае, если кипение не произошло до момента их смешения с холодными водами, то проекции точек пересечения линии смешения и кривой растворимости кварца, точек В и Г дают значения энтальпии ~800 и ~1050 Дж/г соответственно. Следовательно, температура циркуляции терм при рассматриваемых условиях варьирует от 188 °C до 243 °C. Если кипение произошло до момента смешения, то температура терм изменяется в диапазоне от 137 °C до 155 °C (H = ~575 и ~650 Дж/г), точки Д и Е соответственно. В целом полученные глубинные температуры с учетом кипения до момента смешения схожи с их оценками по Na/K-геотермометрам.

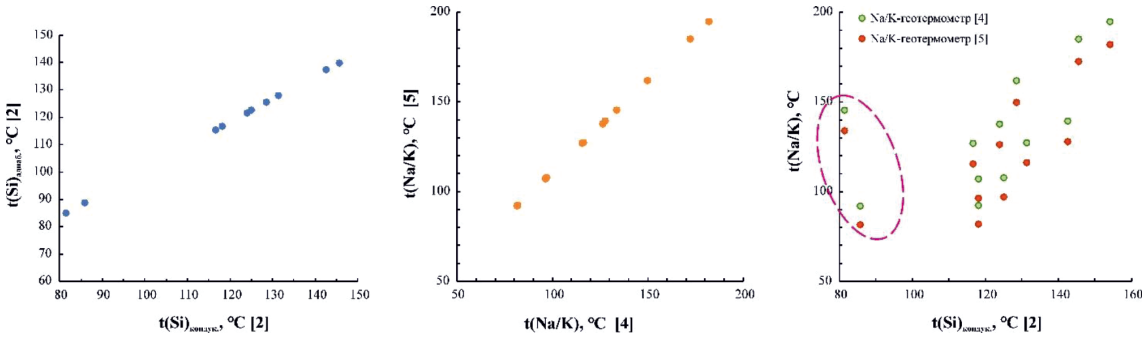


Рис. 3. Соотношение глубинных температур азотных термальных вод провинции Цзянси, рассчитанных по Si- и Na/K-геотермометрам

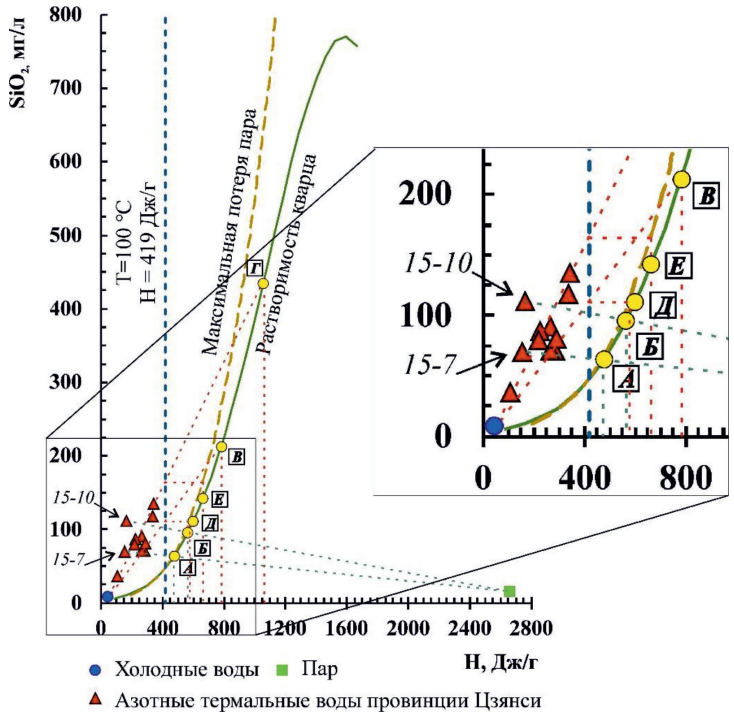


Рис. 4. Расположение фигуративных точек азотных термальных вод провинции Цзянси на модели смешения Si-энтальпия

Кроме этого, среди рассматриваемых вод выявлены некоторые отклонения от общей тенденции. Из рис. 4 также видно, что линия, проходящая через холодные воды и фигуративные точки азотных терм 15–10 и 15–7, не пересекает кривую растворимости кварца, что в свою очередь свидетельствует об отсутствии смешения. В данном случае глубинные температуры относятся к точкам пересечения линий, соединяющих точку пара и родников, с линией растворимости кварца (рис. 4, точки А и Б). Проекции этих точек на ось энтальпии дают значения ~475 Дж/г для родника 15-7 и ~560 Дж/г для родника 15-10, что соответственно относится к температурам 113 °C и 133 °C. Полученные температуры соответствуют результатам расчетов по Si-геотермометру при адиабатическом охлаждении и Na/K-геотермометру [4].

Выводы

Полученные результаты оценки глубинных температур с помощью различных геотермометров показали разные результаты. Диаграмма Si-энтальпия наглядно демонстрирует смешение подавляющей части азотных терм с более холодными во-

дами по мере их движения на поверхность. В этой связи при выборе метода оценки глубинных температур рассматриваемых вод следует отдавать предпочтение Na/K-геотермометру [4], поскольку, в отличие от Si-геотермометров, в меньшей степени подвержен влиянию смешения вод и отражает реальные условия температурного режима на глубине циркуляции терм. Таким образом, температура азотных термальных вод провинции Цзянси на глубине циркуляции составляет от 92 до 185 °С.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда проекта № 17-17-01158.

Список литературы / References

1. Лаврушин В.Ю. Подземные флюиды Большого Кавказа и его оформления. М.: ГЕОС, 2012. 348 с.

Lavrushin V.Yu. Subsurface fluids of the Greater Caucasus and its surrounding. M.: GEOS, 2012. 348 p. (in Russian).

2. Fournier R.O. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. Geothermics, 1977. V. 5. P. 41–50.

3. Karingithi C.W. Chemical geothermometers for geothermal exploration. Presented at Short Course IV on Exploration for Geothermal Resources, organized by UNU-GTP, KenGen and GDC, at Lake Naivasha, Kenya, November 1–22, 2009. [Electronic resource]. URL: https://orkustofnun.is/gogn/unu-gtp-sc/UNU-GTP-SC-10-0603.pdf (date of access: 12.09.2019).

4. Fournier R.O. A revised equation for the Na-K geothermometer. Geothermal Resource Council Transections. 1979. V. 3. P. 221–224.

5. Nieva D., Nieva R. Developments in geothermal energy in Mexico, part 12. A cationic geothermometer for prospecting of geothermal resources. Heat Recovery Systems and CHP. 1987. V. 7. P. 243–258. DOI: 10.1016/0890-4332(87)90138-4.

6. Shvartsev S.L., Sun Z., Borzenko S.V., Gao B., Tokarenko O.G., Zippa E.V. Geochemistry of the thermal waters in Jiangxi Province, China. Applied Geochemistry, 2018. V. 96. P. 113–130. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2018.06.010.

7. Sun Zh., Shvartsev S.L., Tokarenko O.G., Zippa E.V., Gao B. Geochemical peculiarities of nitric thermal waters in Jiangxi province (SE-China). IOP conference series: earth and environmental science. 2016. V. 33(1). 6 p. DOI: 10.1088/1755-1315/33/1/012012.

8. Sun Z., Gao B., Shvartsev S., Tokarenko O, Zippa E. The Thermal Water Geochemistry in Jiangxi Province (SE-China). Procedia Earth and Planetary Science. 2017. V. 17. P. 940–943. DOI: 10.1016/j.proeps.2017.01.031.

9. Pasvanoğlu S., Çelik M. A conceptual model for groundwater flow and geochemical evolution of thermal fluids at the Kızılcahamam geothermal area, Galatian volcanic Province. Geothermics. 2018. V. 71. P. 88–107. DOI: 10.1016/j.geothermics.2017.08.012.

10. Wang X., Wang G. L., Gan H. N., Liu Z., Nan D.W. Hydrochemical characteristics and evolution of geothermal fluids in the Chabu high-temperature geothermal system, Southern Tibet. Geofluids, 2018. 15 p. DOI: 10.1155/2018/8532840.

11. Alçiçek H., Bülbül A., Brogi A., Liotta D., Ruggieri G., Capezzuoli E., Meccheri M., Yavuzer I., Alçiçek M.C. Origin, evolution and geothermometry of the thermal waters in the Gölemezli Geothermal Field, Denizli Basin (SW Anatolia, Turkey). Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2018. V. 349. P. 1–30. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2017.07.021.

УДК 528.9:911.2(571.5)

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ГЕОСИСТЕМ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕГИОНОВ (НА ПРИМЕРЕ ЮГА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ)

Кузнецова Т.И.

ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы» СО РАН, Иркутск, e-mail: kuznetzova@irigs.irk.ru

Предложена методика создания карт геосистемного геоэкологического содержания для обоснования схем территориального планирования регионов. Разработаны принципы и методика анализа и интеграции географической информации в единую картографическую систему, обеспечивающую привязку планируемого хозяйственного объекта к местности, учет многообразия связей их элементов, всестороннее сквозное описание, оценку и картографирование возможных геоэкологических ситуаций. Геоэкологические ситуации характеризуют длительновременное состояние геосистем как комплекса условий, обеспечивающих или лимитирующих жизнедеятельность человека. Определяющее значение в исследовании геоэкологических ситуаций имеет не сам по себе тот или иной природный или антропогенный фактор, а их совокупность и характер проявления в конкретном месте и в конкретных обстоятельствах. Согласование междисциплинарной географической информации о геоэкологических ситуациях региона осуществлялось с использованием полигеосистемной средовой концепции картографирования. Объект исследования – геосистемы – рассматривается как территориальное единство взаимодействующих сред: экологической среды, ресурсной среды и среды жизнедеятельности человека, эмерджентные свойства которых отражают природный потребительский потенциал геосистем. Это придает проблеме комплексное содержание и приводит к необходимости специализированной типизации и геоэкологическому зонированию территории. Решалась задача разработки методических основ создания картографической информационной системы геоэкологического содержания (на примере регионов Юга Восточной Сибири) как обобщения междисциплинарных географических данных о процессе развития геосистем, характере их использования, а также прогнозирования естественного или искусственного (в случае антропогенного воздействия) изменения. В этой связи был проведен анализ фондовых литературных и картографических материалов, выявлены основные геоэкологические закономерности региона, разработаны научные концепции создания карт геосистемного геоэкологического содержания, составлены схемы инвентаризации, оценки и прогноза развития геоэкологических ситуаций, в том числе возможные природные экологические риски. Представлена структура процесса модификации географической информации и фрагменты геоэкологических карт, способных обеспечить решение прикладных практических задач.

Ключевые слова: территориальное планирование, геоэкологическое обоснование, геоэкологические ситуации, геосистемный анализ, картографирование

GEOSYSTEM MAPPING FOR INFORMATION SUPPORT OF TERRITORIAL PLANNING OF REGIONS (CASE STUDY THE SOUTH OF EAST SIBERIA)

Kuznetsova T.I.

Federal Publicly Funded Institution of Science V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: kuznetzova@irigs.irk.ru

We propose a methodology for creating maps of geosystem with geoecological content for substantiation of the schemes of territorial planning of regions. The principles and methodology for the analysis and integration of geographical information into a single mapping system were developed, providing geo-referencing link of the planned economic object to the area, taking into account the variety of connections of their elements, a comprehensive cross-cutting description, assessment and mapping of geo-ecological situations. Geoecological situations characterize the long-term state of geosystems as a comlex of conditions that ensure or limit human activity. Not a natural or anthropogenic factor is decisive in the study of geoecological situations, but their combination and nature of manifestation in a particular place and in specific circumstances. We used the polygeosystem ecosystem mapping concept to coordinate interdisciplinary geographic information about the geoecological situations of the region. The objects of study are geosystems. They are considered as the territorial unity of the interacting environments: the ecological environment, the resource environment and the human environment. Their emergent properties reflect the natural consumer potential of geosystems. This gives the problem a comprehensive content and leads to the need for specialized typification and geoecological zoning of the territory. We developed methodological foundations for creating a cartographic information system of geoecological content (e.g., the regions of the South of Eastern Siberia) to generalize interdisciplinary geographical data on the development of geosystems, the nature of their use, as well as forecasting natural or artificial (in the case of anthropogenic impact) changes. To this end, we conducted an analysis of stock literary and cartographic materials, identified the main geoecological patterns of the region, developed scientific concepts for creating maps of geosystem geoecological content, made inventory schemes, assessed and predicted the development of geoecological situations, including possible natural environmental risks. In addition, the structure of the process of modifying geographic information and fragments of geo-ecological maps that can provide a solution to applied practical problems are presented.

Keywords: territorial planning, geoecological substantiation of projects, geoecological situation, geoecological analysis, geosystem mapping

Рекомендации по информационному сопровождению схем территориального планирования содержат длинный перечень необходимых географических материалов [1, 2]. Вместе с этим экологическое обоснование планирования развития территории не имеет смысла вне исследования сложных целостных географических систем [3, 4]. В этой

связи проблема дальнейшего усовершенствования геосистемной геоэкологической концепции картографирования крупных регионов для целей информационного обеспечения схем территориального планирования является актуальной.

Геоэкологическое картографирование – это наиболее организованная и эффективная форма информационного обеспечения реализации и осуществления региональной политики территориального планирования как совокупности принципиальных, стратегических установок в отношении природоохранного размещения производительных сил, развития территорий и всех других пространственных аспектов генеральной политической и социально-экономической стратегии. В этом плане оно выступает как процедура подготовки объективной и доступной информации о природных географических объектах для решения целевых задач и сочетает обзор, анализ, обобщение информации о природной среде и ее использовании.

Системность в территориальном планировании обеспечивает, прежде всего, рассмотрение целевых территорий в виде части сложного, создаваемого человеком объекта, базовая территориальная структура которого выступает как единая геосистема. При этом исследуется и специфика исходного состояния территории, и характер воздействия на нее планируемого хозяйственного объекта, и возможные негативные последствия, и природоохранные мероприятия. В таком многоаспектном анализе объект исследования находится в плоскости пересечения трех основных предметов исследования географии (природа, человек, хозяйство) и соответствует некоторой области интегрального междисциплинарного знания [5]. Суть такого подхода состоит не просто в умении описать бесконечное множество структурных систем с большим информационным содержанием, но прежде всего в том, чтобы выделить из этого множества конечный вариант, необходимый и достаточный для реализации целевой программы.

Цель исследования заключается в том, чтобы, определив всю совокупность необходимых для экологического обоснования территориального планирования характеристик природной среды, связать их в единую картографическую информационную систему (КИС) сбора, обработки и визуализации информации, которая обеспечит конструктивное представление об объекте исследования и будет пригодна для однозначного и четкого выполнения рекомендательных инструкций.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являются геоэкологические ситуации (ГС). Под ГС понимается длительновременное состояние геосистем как комплекса природных условий, обеспечивающих или лимитирующих жизнедеятельность человека на конкретной территории [5]. Для их исследования использовались методические и классификационные принципы геосистемного геоэкологического картографирования, усовершенствованные в свете «методологии конструктивного подхода» [6, с. 28–46]. Этот подход концептуально определил структуру данного научного исследования как процесса подготовки геосистемной информации о комплексе существующих природных условий для решения целевых задач (рис. 1). Основной акцент исследования сосредоточен на решении двух проблем: 1 – выявление системы характеристик геосистем как о пространстве возможностей для локализации планируемого объекта; 2 – обеспечение доказательств надежности полученных результатов исследования.

Для исследования геосистем с точки зрения свойств, важных для природы и общества, применяется полифункциональный подход. В территориальном планировании одни и те же геосистемы одновременно рассматриваются и в качестве главного средства производства, и пространственного базиса хозяйственной деятельности людей, и среды жизни и отдыха человека, и источника природных ресурсов, и хранилища и источника генетического фонда флоры и фауны, и объекта научных исследований.

Процесс исследования включает следующие обязательные процедуры: 1 – определение объекта исследования и иерархического уровня его проработки; 2 – разработку программы и научной концепции картографирования, отвечающую задачам целевого назначения; 3 – разработку критериев качественной оценки состояния геосистем; 4 – разработку содержания тематических карт по программе картографирования; 5 – решение научно-практических вопросов создания карт.

Для исследования возможного изменения ГС использованы принципы и методы геосистемного картографического мониторинга [5], который объединяет следующие этапы: 1 – инвентаризационный;

2 – реинвентаризационный; 3 – прогнозный, определяющий сценарии возможного изменения ГС.

Для создания целевой КИС использовались созданные ранее традиционные и электронные тематические карты, а также материалы дистанционного зондирования с аппарата «Landsat-8» разных спектральных каналов съемки с разрешением 30 м – 100 м, а также литературные данные. Для перевода многочисленной информации в необходимый для геоэкологической интерпретации вид использовалась созданная ранее базовая карта геосистем исследуемого региона [5], преобразованная с использованием программ MapInfo Professional и ENVI.

Результаты исследования и их обсуждение

Разработана программа картографирования ГС крупных регионов для информационного обеспечения геоэкологического обоснования территориального планирования (рис. 1). На каждой ступени исследования геосистем определяются свои специфические критерии оценки географической информации. На первом этапе, по существу, выполняется задача информационно-поисковой инвентаризации всей совокупности исходных данных, которые вовлекаются в исследование, в то время как в блок локализации попадает лишь информация, имеющая значение для конкретного планируемого действия.

<table>
<tr><td colspan="4">Концепция картографирования
Конструктивная геосистемная</td></tr>
<tr><td colspan="2">Цель
Создание картографической информационной системы (КИС)</td><td colspan="2">Задачи
Информационное обеспечение территориального планирования</td></tr>
<tr><td colspan="4">Уровни картографирования (многоуровенное)</td></tr>
<tr><td>Объект
Геоэкологические ситуации (ГС)</td><td colspan="2">Предмет
Целевое использование</td><td>Подход
Комплексный (средовой)</td></tr>
<tr><td colspan="4">Этапы и шаги модификации информации</td></tr>
<tr><td colspan="4">Разработка базовой геоэкологической карты</td></tr>
<tr><td colspan="4">Исходная информационная система</td></tr>
<tr><td colspan="2">Процедуры</td><td colspan="2">Карты и космофотоснимки</td></tr>
<tr><td colspan="2">Сбор информации
Создание электронной версии тематических карт. Анализ планировочно-технических материалов.Выявление конфликтных и проблемных геоэкологических ситуаций</td><td colspan="2">Физико-географическое районирование. Ландшафты. Эколого-фитоценотическая. Современное использование земель. Население и расселение. Особо охраняемые природные территории. Экологическое зонирование Эколого-географическая. Неотектоника. Сейсмическое районирование. Поверхностные и подземные воды. Животный мир. Планировочно-технические материалы Космические фотоснимки</td></tr>
<tr><td colspan="4">Система локализации информации</td></tr>
<tr><td colspan="2">Процедуры и методы</td><td>Карты</td></tr>
<tr><td colspan="2">Разработка критериев отбора и оценки информации. Разработка базовой геоинформационной системы. Изучение структуры природных геосистем. Оценка их устойчивости, чувствительности и функционирования. Оценка видов и степени существующего антропогенного воздействия. Анализ планируемой региональной технической системы</td><td>Структурный анализ
Функциональный анализ
Территориальный анализ</td><td>Структура геосистем. Устойчивость. Экологические функции геосистем. Хозяйственные функции геосистем. Биологическая продуктивность. Экологический потенциал геосистем. Экологически благоприятный режим использования. Комплексная геоэкологическая карта.</td></tr>
<tr><td colspan="4">Конструктивная система</td></tr>
<tr><td colspan="2">Процедуры и методы</td><td colspan="2">Карты</td></tr>
<tr><td>Оценка степени согласованности информации. Масштабная редукция информации. Обобщение, пространственная группировка и комплексирование информации</td><td>Логико-ситуационный анализ</td><td colspan="2">Чувствительность ландшафтов к техногенным нагрузкам. Надежность и безопасность функционирования. Эколого-хозяйственное зонирование. Зонирование территории по степени экологической благоприятности использования</td></tr>
<tr><td colspan="4">Система поддержки принятия решения</td></tr>
<tr><td colspan="3">Процедуры</td><td>Карты</td></tr>
<tr><td colspan="3">Разработка и создание вариативных моделей карт геосистем
Разработка и картографирование мероприятий по рационализации использования и охране геосистем или их компонентов</td><td>Функциональное зонирование территории</td></tr>
</table>

Рис. 1. Процесс модификации географической информации и интеграции в целевую КИС

В качестве базовой основы для комплексной оценки исходных данных о природе исследуемой территории использована научная ландшафтная карта геосистемного содержания соответствующего масштаба проработки. Её физико-географические характеристики выступают в качестве конструктивного объекта при обосновании тех или иных хозяйственных мероприятий, определяют структурно-функциональный уровень исследования и позволяют устанавливать совокупность взаимосвязей хорологически неравнозначных факторов географической дифференциации. Ландшафтная карта также отражает компонентно-системные, межуровенные и полииерархические отношения объектов природы, дает представление о пространственно-временной организации геосистем разного порядка, их устойчивости и изменчивости. Двойственный характер классификации геосистем (по ряду геомеров и ряду геохор) обеспечивает возможность двух подходов (регионального и типологического) к их анализу.

Конструктивный блок дает представление о размещении планируемого объекта в уже существующей территориальной системе и позволяет учитывать основные факторы антропогенного воздействия на природную среду. Процесс территориального сосредоточения географической информации о геосистемах складывается из «акта локализации объекта конкретного действия и акта аргументации его конструктивного содержания» [6, с. 31]. Использование в этом деле принципов геосистемного картографирования обеспечивает смещение исследовательских аспектов с внутренних характеристик объектов в системе «природа – население – хозяйство» на системообразующие отношения между ними, что развивает потенциал картографирования географических объектов в двух основных направлениях: 1 – построение и отражение на картах изучаемой системы путем разделения на подсистемы по разным типам связей; 2 – перевод характеристик объектов в корреляционные зависимости, позволяющие судить о возможных ГС в сравнении с существующей географической информацией об объекте.

Речь идет о широком спектре исследования возможных пространственных конструкций, отражающих закономерности дифференциации компонентов геосистем и хозяйственных объектов и их взаимодействия в соотношениях «система – объект», «целое – часть», «часть – часть», «характер воздействия – отклик», «воздействие – отклик – ущерб» и др., результаты которого оформляются в виде ситуационных карт, которые впоследствии сами становятся объектом исследования.

Главной проблемной ситуацией при планировании размещении хозяйственных объектов являются возникающие противоречия, с одной стороны, между экологическими и нормативно-правовыми ограничениями на размещение данных объектов, а с другой стороны – между использующими территорию традиционными отраслями (лесное, охотничье-промысловое хозяйство) и планируемыми к размещению новыми объектами. В этой связи в качестве основных факторов воздействия в процессе сооружения и функционирования промышленных или транспортных предприятий на окружающую среду и формирования будущей структуры региона рассматривается возможность отторжения и перераспределения характера использования геосистем; нарушение их структуры в результате прямого или косвенного воздействия. Основными критериями оценки допустимости перераспределения в использовании геосистем являются юридический статус земель, их экологические и хозяйственные функции, а также культурное и эстетическое значение.

В блоке системы принятия решений содержится информация о вариативных моделях геосистем на разных этапах их использования, а также разрабатываются основные действия и приоритетные мероприятия по охране геосистем и их компонентов в соответствии с регламентом выделенных экологических зон. Экологическая интерпретация геосистемной информации проводилась с использованием «средовой концепции» [7] по схеме: «геосистема – среда – антропогенное воздействие – изменения состояния геосистем – экологические последствия». На этапе прогнозирования изменений природной среды разрабатываются сценарии возможных вариантов развития ГС.

Разработана схема геоэкологической интерпретации геосистемных характеристик, которая имеет следующий вид: выделяются природные типы ландшафтов – определяется биологическая продуктивность – проводится качественная оценка экологического потенциала геосистем – производится оценка их чувствительности к антропогенному воздействию – устанавливаются их экологические и социально-хозяйственные функ-

ции – обосновывается тип рационального использования – разрабатывается система природоохранных мероприятий. В сокращенном варианте она представлена в таблице «Критерии оценки экологического потенциала (ЭП) геосистем» (таблица).

В программно-целевом картографировании геосистем очень важен момент определения таксономического уровня исследования. В нашем случае объектами исследования являются геосистемы регионального и планетарного таксономического уровня, которые позволяют максимально передать информацию об условиях природной среды района исследования, в том числе характеристики его иерархической и динамической структуры. Это также позволяет проводить многоступенчатый структурный анализ геосистем для решения вопросов, связанных со стадийностью экологических изысканий. На планетарном уровне исследуется общий природный фон формирования природной среды и делается предварительное заключение о районах, перспективных для освоения. На региональном уровне конкретизируются природные условия территории, подлежащие возможному освоению.

Основной таксономической единицей картографирования определены геомы, которые, по сути, объединяют группы фаций не только в новую таксономическую категорию, но и единую программно-целевую систему; проводится анализ их структур и упорядочение в целях оценки и прогноза. Регионально-типологический и типологический анализ региона на уровне геомов дает возможность использовать материалы исследования для определения степени потенциальной устойчивости в соответствии с уровнем территориального планирования. Для этих целей необходимо учитывать все возможные отклонения в структурной организации геомов (оптимальные, ограниченные, редуцированные, экстраобластные).

Разработаны критерии оценки ЭП геосистем (таблица). Основным является соотношение параметров их структуры и функционирования. Функциональные характеристики индицируют важнейшие климатические параметры – температуру воздуха, относительную влажность, атмосферные осадки, теплообеспеченность – и биологическую продуктивность, которая рассматривается также в качестве индикатора ресурсного потенциала.

Относительная (резистентная, или инерционная) устойчивость геосистем, т.е. способность не меняться под внешним воздействием устанавливается на основе анализа внутриструктурных свойств геосистем. Она, как правило, индицируется показателями соотношения тепла и влаги, а также продуктивностью геосистем. Потенциальная устойчивость геосистем как способность к восстановлению нарушенного равновесия определяется их принадлежностью определенному региональному комплексу условий (инварианту), определяющему возможности системы достигать внутриструктурных различий, необходимых для ее развития.

Менее уязвимыми при антропогенном воздействии являются геосистемы оптимальных условий развития с высокой биологической продуктивностью, более уязвимыми – редуцированных условий развития с низкой биологической продуктивностью (рис. 2). Среднюю уязвимость имеют геосистемы ограниченных условий развития.

Заключение

Картографическое обеспечение программы геоэкологического сопровождения схем территориального планирования регионов с позиций системно-целевого подхода основано на многоаспектном, многоуровневом, но в конечном счете едином рассмотрении форм возможного воздействия будущих хозяйственных объектов на пространственные системы разного содержания и таксономического ранга. Оценка последствий вовлечения в народно-хозяйственный оборот природных ресурсов выступает как сложное многоступенчатое исследование, которое позволяет увязать будущий хозяйственный объект в особое звено уже существующих природно-хозяйственных систем, затрагиваемых освоением.

Критерии оценки экологического потенциала геосистем

ЭП геосистем	Геосистемы, категории устойчивости, уязвимости	Природные факторы, осложняющие использование геосистем		Категории условий жизнедеятельности
		Орографические, климатические, литологические	Функциональные	
1	2	3	4	5

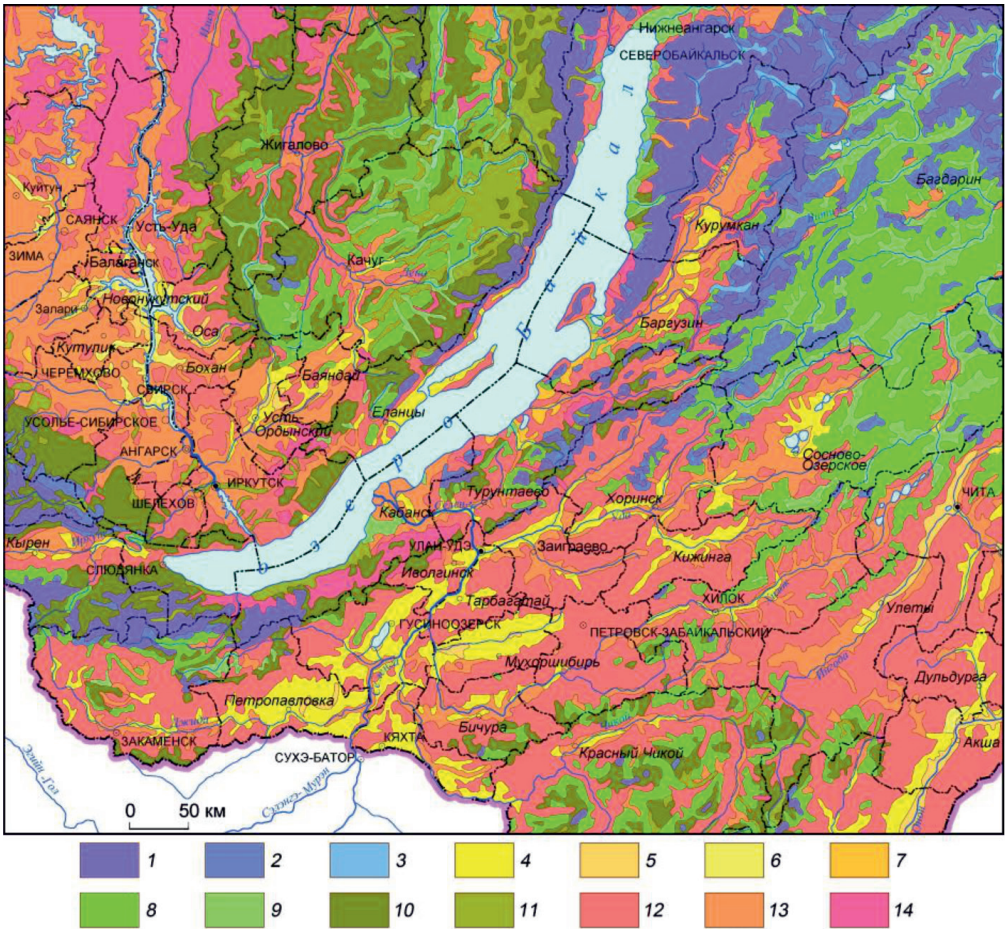


Рис. 2. Геоэкологическое зонирование территории. (М 1:5000 000)

Основные природные структуры: 1 – гольцово-верхнетаежные редуцированных условий развития; 2 – горнотаежные светлохвойные редуцированных условий развития; 3 – таежные светлохвойные редуцированных условий; 4 – сухостепные; 5 – степные (мерзлотные, литофильные и пр.); 6 – луговостепные; 7 – сосновые и боровых равнин; 8 – горнотаежные светлохвойные ограниченных условий развития; 9 – таежные светлохвойные ограниченных условий развития; 10 – горнотаежные темнохвойные ограниченных условий развития; 11 – таежные темнохвойные ограниченных условий развития; 12 – горнотаежные лиственничные оптимальных условий развития; 13 – подгорные подтаежные; 14 – горнотаежные темнохвойные оптимальных условий развития [5].

Категории уязвимости геосистем: I – наиболее высокая (1); II – очень высокая (2–3); III – высокая (4); IV– относительно высокая (5); V – относительно низкая (6–7); VI – низкая (8–11); VII – очень низкая (12, 13); VIII – наиболее низкая (14)

Системно-целевой подход геоэкологического картографирования обеспечил развертывание методологии географического синтеза научного знания о геосистемах посредством поэтапной интеграции информации и акцентирования внимания на их структурных и целевых функциях в разные моменты времени. В целом исследование является своеобразной процедурой научной подготовки информации о географическом объекте для решения целевых народнохозяйственных задач. Вся используемая совокупность разрозненных данных связана в схему, пригодную для однозначного и четкого выполнения инструкций, т.е. превращена в алгоритм территориального планирования.

Исследование выполнено в рамках тем Плана НИР Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН «Геоинформационное картографирование и математическое моделирование географической среды в условиях глобализации и воздействия на природные и социально-экономические процессы

в Сибири и на сопредельных территориях» (№ 0347-2016-0004).

Список литературы / References

1. Иванов Н.И., Фомкин И.В., Соловьев А.И. Прогнозирование, планирование и организация территории административно-территориальных образований: методические указания и задания для РГР. М., 2009. 160 с.

Ivanov N.I., Fomkin I.V., Soloviev A.I. Prediction, planning and organization of the territory of administrative-territorial formations: guidelines and tasks for the RGR. M., 2009. 160 p. (in Russian).

2. Заиканов В.Г. Методические основы геоэкологической оценки территории. М.: Наука, 2008. 81 с.

Zaikanov V.G. Methodical Bases of Geoecological Assessment of the Territory. M.: Nauka, 2008. 81 p. (in Russian).

3. Хорошев А.В. Географическая концепция ландшафтного планирования // Известия РАН. Серия географическая. 2012. № 4. С. 103–112.

Khoroshev A.V. Geographical Concept of Landscape Planning // Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya. 2012. № 4. P. 103–112 (in Russian).

4. Семенов Ю.М., Лысанова Г.И. Картографирование геосистем для ландшафтного планирования районов Республики Алтай // География и природные ресурсы. 2016. № 4. С. 66–75. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2016-4(66-75).

Semenov Yu.M., Lysanova G.I. Mapping of geosystems for landscape planning of areas in the Altai Republic. Geography and Natural Resources. 2016. Т. 37. № 4. P. 329–337. DOI: 10.1134/S1875372816040077.

5. Кузнецова Т.И. Основы геоинформационного картографирования развития геоэкологических ситуаций Байкальского региона // Геодезия и картография. 2010. № 8. С. 24–32.

Kuznetsova T.I. Basics of geoinformation mapping of geoecological situations development in Baikal region // Geodesy and cartography. 2010. № 8. P. 24–32 (in Russian).

6. Михеев В.С. Ландшафтно-географическое обеспечение комплексных проблем Сибири. Новосибирск: Наука, 1987. 205 с.

Mikheev V.S. The Landscape-Geographical Support Comprehensive Problems of Siberia. Novosibirsk: Nauka, 1987. 205 p. (in Russian).

7. Козин В.В. Средовой подход в ландшафтной экологии // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2009. № 3. С. 4–8.

Kozin V.V. Environmental Approach in Landscape Ecology // Vestnik tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopol'zovaniye. 2009. № 3. P. 4–8 (in Russian).

УДК 504.064.2: 502.057:57.025:574.24:519.876

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДИНАМИКИ ШИРИНЫ КАЖДОГО УЧЕТНОГО ЛИСТА БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ ОКОЛО МАКСИМУМА РОСТА В ПЕРИОД ВЕГЕТАЦИИ

Мазуркин П.М., Кудряшова А.И.

Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, e-mail: kaf_po@mail.ru, Little-one7@yandex.ru

Доказано, что каждый учетный лист березы повислой (*Betula pendula*) имеет свою картину поведения в окружающей воздушной микросреде с колебательной адаптацией. По новому дополнению к патенту 2606189 на изобретение РФ сбоку на высоте 1,5–2,0 м со стороны преобладающих ветров по динамике с 15 июля по 23 сентября 2018 г. измерялась ширина каждого из 10 учетных листьев у ослабленной березы, растущей около автомобильной дороги на ул. Эшкинина г. Йошкар-Ола Республики Марий Эл. Доказано, что для таких слабых деревьев начало измерений нужно сдвинуть на 01–10 июля. На каждый учетный лист время вегетации около максимума роста влияет с коэффициентом корреляции более 0,99, поэтому можно измерять параметры микросреды вокруг каждого учетного листа. Опыты показали, что для высокого уровня адекватности всего можно измерять только 5 учетных листьев. Получено, что вегетационные органы имеют механизмы колебательной адаптации к окружающей среде не только всего дерева, но и по отдельным учетным листьям. Способность учетных листьев березы повислой давать отклик с высокой точностью на изменения микросреды вокруг каждого из них расширяет возможности косвенного биотестирования, причем без сопоставления с трудоемкими химическими анализами загрязнений воздуха. Такое сравнение можно выполнить только в первую серию экспериментов. Для повышения точности измерений в дальнейшем нужно использовать приборы, измеряющие метеопараметры вокруг каждого учетного листа и физиологические показатели также от каждого живого учетного листа.

Ключевые слова: вегетация ослабленной березы, 10 учетных листьев, ширина, динамика, колебательная адаптация, закономерности поведения

REGULARITIES OF THE DYNAMICS OF THE AVERAGE WIDTH OF THE LEAVES OF SILVER BIRCH NEAR THE MAXIMUM GROWTH IN THE VEGETATION PERIOD

Mazurkin P.M., Kudryashova A.I.

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, e-mail: kaf_po@mail.ru, Little-one7@yandex.ru

ABSTRACT It is proved that each measured birch leaf (Betula pendula) has its own picture of behavior in the surrounding microenvironment with strong vibrational adaptation. According to the new addition to the patent No. 2606189 for the invention of the Russian Federation from the side at an altitude of 1.5-2.0 m from the prevailing winds in dynamics from July 15 to September 23, 2018, the width of each of 10 registration leaves was measured for a weakened birch near the automobile roads on Eshkinin street of Yoshkar-Ola city. It is proved that for such trees, the beginning of measurements must be rescheduled earlier on July 01-10. The vegetation time near the growth maximum affects each record sheet with a correlation coefficient of more than 0.99, therefore, it is possible to measure the microenvironment parameters around each measured sheet. Vegetative organs have mechanisms of vibrational adaptation to the environment not only of the whole tree, but also on individual leaves. The ability of birch leaves to respond with high accuracy to changes in the microenvironment around each of them expands the possibilities of indirect biotesting, and without comparison with labor-intensive chemical analyzes of contaminants. Therefore, in the future, it is necessary to use instruments that measure meteorological parameters around each measured sheet and physiological indicators also from each such sheet.

Keywords: vegetation of weakened birch, 10 leaves, width, dynamics, vibrational adaptation, patterns of behavior

Летом 2018 года были проведены эксперименты по изучению влияния метеопараметров и загрязнений воздуха на динамику роста ширины учетных листьев березы повислой (*Betula pendula*). Вначале было выбрано направление преобладающих ветров для выбора локальной зоны на боковой поверхности кроны. Из этой зоны у 10 деревьев березы без срезания были измерены за вегетационный период по 10 учетных листьев. Отдельно было изучено влияние координат расположения осей ствола деревьев, а также расстояния до локальных зон от края автомобильной дороги и от поверхности почвы. Кроме того, были сравнены ширина листьев с тремя видами загрязнения на улицах. Было замечено, что высокая адекватность моделей динамики роста и развития ширины листьев позволяет рассматривать их по отдельности. Тогда каждый учетный лист на планете может стать индикатором.

Глобальное число деревьев на планете составляет примерно 3,04 триллиона [1].

Россия является лидером: в Сибири, на Дальнем Востоке и других местах рас-

тет 640 миллиардов деревьев. Далее по 300 миллиардов деревьев имеют Канада и Бразилия. Самыми зелеными уголками планеты, помимо России, являются Скандинавия, Северная Америка и тропики. В северных широтах деревья растут плотно, занимая меньшую площадь [2].

Человечество использует ископаемые виды топлива, к середине XXI в. значения CO_2 будут одинаковы с ранним эоценом (50 млн лет назад). Если концентрация CO_2 продолжит расти до XXIII в., Земля будет реагировать как за 1,5 миллиарда лет [3].

Эти знания повышают шансы на разработку моделей для описания лесной системы в изменяющихся климатических условиях [4]. Можно утверждать, что будущее сдерживания количества CO_2 находится, прежде всего, в увеличении площади лесов [5].

Динамику метеопараметров можно описать множеством асимметричных вейвлетов вплоть до ошибки измерений. Аналогично хорошо квантуется содержание CO_2 в атмосфере. По вейвлетам универсальной конструкции изменяется динамика углерода в Европе [6].

В экологических технологиях с использованием листьев березы повислой [7] постепенно приходит понимание о необходимости моделирования взаимных связей между параметрами структуры листьев растений методом идентификации [8].

Онтогенез – индивидуальное развитие организма от вегетативного зачатка до природной смерти. Благодаря активной деятельности меристем и фотосинтетической активности листьев зеленое растение приобретает ряд черт, которые характеризуют его рост [9, 10].

Если на каждом хвойном или лиственном дереве находится примерно 10^5 листьев, то в мире за год будет находиться около $3 \cdot 10^{17}$ листьев. Каждый из них имеет свою жизнь.

Цель статьи: повышение точности индикации качества окружающей среды; каждый лист одной березы микросреды в динамике около максимума ширины по патенту 2606189 на высоте 1,5–2,0 м со стороны преобладающих ветров с 15 июля по 23 сентября 2018 г. у всех 10 учетных листьев около автомобильной дороги на ул. Эшкинина г. Йошкар-Ола.

Материалы и методы исследования

Колебания записываются волновой формулой [8] вида

$$y_i = A_i \cos(\pi x / p_i - a_{8i}),$$

$$A_i = a_{1i} x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i} x^{a_{4i}}),$$

$$p_i = a_{5i} + a_{6i} x^{a_{7i}}, \qquad (1)$$

где y – показатель (зависимый фактор), i – номер составляющей (1), m – количество членов в (1), x – объясняющая переменная (влияющий фактор), $a_1 ... a_8$ – параметры модели (1) в CurveExpert-1.40, A_i – амплитуда (половина) на оси y, p_i – полупериод колебания (ось x).

Из 10 учетных берез в г. Йошкар-Ола самым сложным по колебательной адаптации оказалось дерево № 3, произрастающее на ул. Эшкинина (рис. 1, рис. 2).

Рис. 1. Береза на ул. Эшкинина

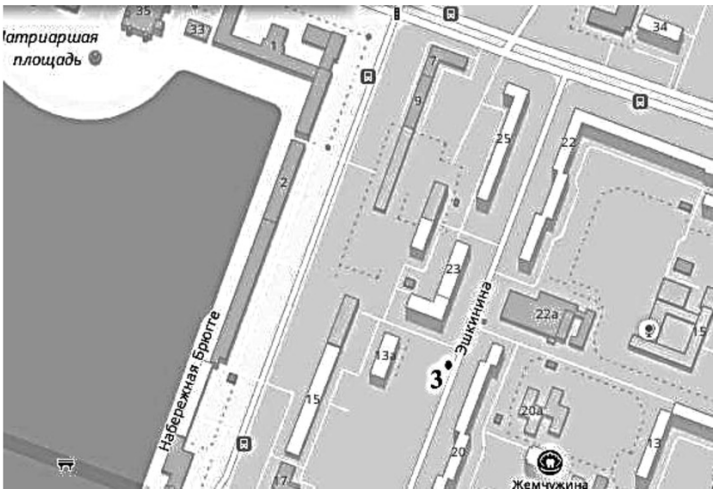


Рис. 2. Карта-схема расположения учетной березы № 3

Из графиков на рис. 3 видно, что в среднем все 100 листьев имеют коэффициент корреляции 0,9133, а береза № 3 на ул. Эшкинина меньше – 0,8136. При этом наименьший из 10 берез максимум средней ширины был достигнут уже через 92 суток и равен 39,77 мм.

Для всех 100 учетных листьев было получено уравнение биотехнического закона:

$$b_{100} = 0,059882\tau^{1.77824} \exp(-0,018210\tau^{0.97935}), \quad (2)$$

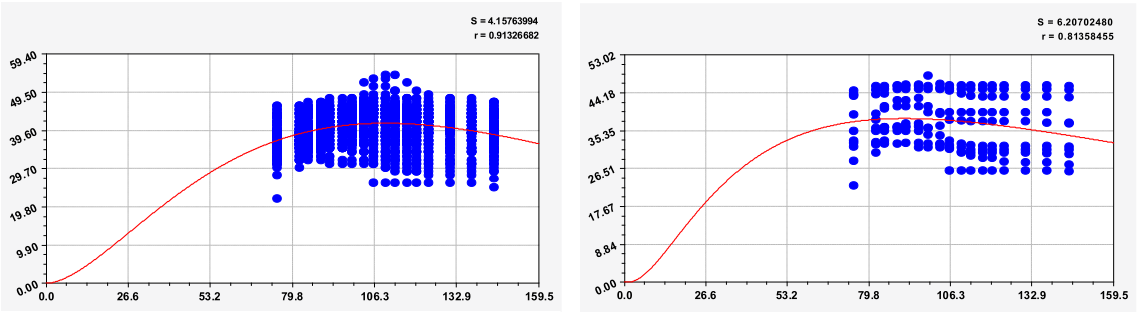
а для 10 учетных листьев березы № 3 на улице Эшкинина –

$$b_{10} = 1,00469 \cdot 10^{7} \tau^{6.43181} \exp(-20,62680\tau^{0.15494}). \quad (3)$$

Первый параметр получает очень высокое значение $1,00469 \cdot 10^{7}$ и образуется так называемый странный аттрактор поведения. Нужно отодвинуть начало измерений, например опыты начать с 01.07. Тогда появится определенность в поведении слабых в росте листьев.

В табл. 1 приведены средние ширины для 10 учетных листьев.

Всего получились 18 строк. Первая точка 01 мая в 2018 г. – начало вегетационного периода, поэтому ставим 0. Из данных таблицы видно, что каждый учетный лист имеет свой характер роста, поэтому можно считать индивидуальный рост зависящим от микросреды со своими параметрами. Тогда каждый лист березы повислой имеет свою картину динамики.



100 учетных листьев от всех 10 берез *10 учетных листьев березы № 3 на ул. Эшкинина*

Рис. 3. Графики динамики ширины учетных листьев березы повислой

Таблица 1

Динамика ширины 10 учетных листьев березы повислой на ул. Эшкинина

Дата	Время t, сутки	Ширина учетных листьев по их номерам										$\bar{b}$, мм
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
01.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.07	75	36,0	28,3	35,3	44,8	22,6	33,0	43,8	43,5	31,6	39,1	35,80
22.07	82	36,2	30,2	35,3	44,9	32,1	38,0	43,8	45,7	32,7	39,4	37,81
25.07	85	**36,2**	36,2	**35,3**	45,0	32,3	40,5	44,1	45,7	33,0	41,0	38,93
29.07	89	36,2	36,3	**35,3**	45,0	32,3	41,0	46,0	45,8	36,0	42,5	39,64
01.08	92	31,5	36,3	35,3	**45,0**	32,5	41,0	46,1	**45,8**	**37,0**	42,5	**39,77**
05.08	96	31,5	**36,4**	35,3	**45,0**	**32,6**	**41,1**	46,1	45,8	**37,0**	**43,0**	39,38
08.08	99	31,5	36,1	34,4	45,0	32,3	**41,1**	**48,2**	45,7	36,0	39,6	38,99
12.08	103	31,5	32,1	34,3	45,0	32,3	39,3	46,3	45,5	36,5	39,6	38,24
15.08	106	31,5	31,1	26,0	44,7	32,0	38,0	46,0	45,2	33,0	39,6	36,71
19.08	110	31,5	30,2	26,0	44,0	30,5	37,8	46,0	45,0	32,4	39,6	36,30
22.08	113	31,0	30,2	26,0	43,5	29,5	37,5	46,0	45,0	32,0	39,6	36,03
26.08	117	31,0	30,2	26,0	43,4	29,1	37,5	46,0	45,0	31,8	39,6	35,96
29.08	120	31,0	30,2	26,0	43,4	29,0	37,5	46,0	45,0	31,8	39,6	35,95
02.09	124	31,0	30,2	26,0	43,4	28,2	37,5	45,9	45,0	31,8	39,6	35,86
09.09	131	31,0	30,2	26,0	43,3	28,0	37,5	45,9	45,0	31,8	39,6	35,83
16.09	138	31,0	30,0	26,0	43,3	28,0	37,2	45,9	45,0	31,8	39,6	35,78
23.09	145	30,9	29,9	25,9	43,2	27,4	37,0	45,8	44,9	31,7	37,3	35,40

Примечание. Полужирным шрифтом показаны максимальные значения ширины учетного листа.

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 2 приведены параметры модели (1) с 10 составляющими для средней ширины листа, первый из которых является трендом в виде биотехнического закона [9]. Цикличность колебания на 01.05.2018 г. в виде полупериода a_{5i} в начале вегетационного периода, для 10 учетных листьев в среднем, изменяется от 2,70 до 13,15 суток.

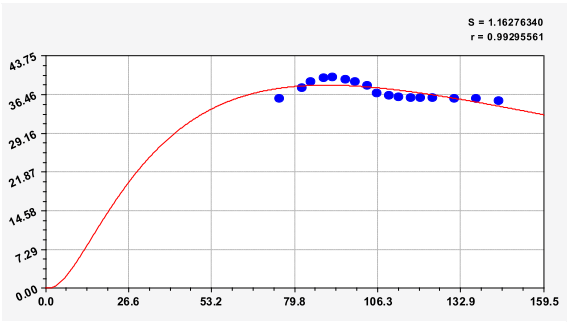
На рис. 4 приведены графики трех первых формул по данным табл. 2.

Первое колебание началось рано, и листья березы испытывали сильное возмущение, которое затем успокоилось с увеличением полупериода колебания.

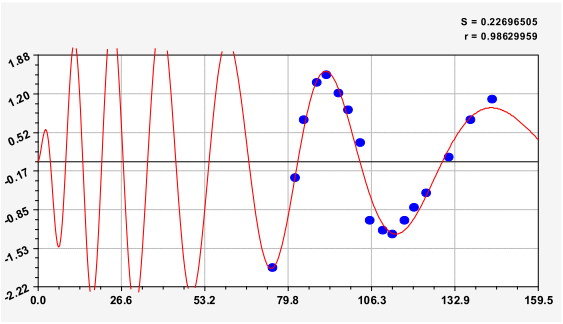
Таблица 2

Динамика (1) средней ширины у 10 учетных листьев березы на ул. Эшкинина

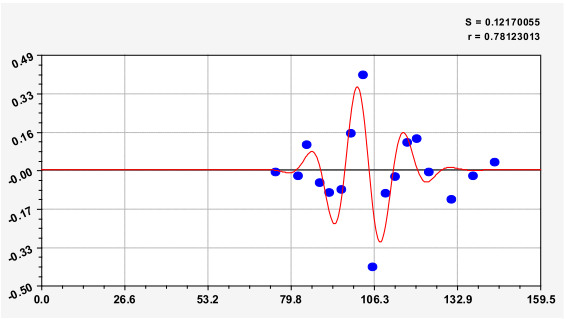
Номер i	Вейвлет $y_i = a_{1i}x^{a_{2i}}\exp(-a_{3i}x^{a_{4i}})\cos(\pi x/(a_{5i}+a_{6i}x^{a_{7i}})-a_{8i})$								Коэф. корр. r
	Амплитуда (половина) колебания				Полупериод колебания			Сдвиг	
	a_{1i}	a_{2i}	a_{3i}	a_{4i}	a_{5i}	a_{6i}	a_{7i}	a_{8i}	
1	4,32635e7	6,24869	21,67686	0,14732	0	0	0	0	1,0000
2	–2,05969e-17	11,49000	0,26966	0,85592	8,78467	0,00060033	1,86181	–3,30341	
3	8,74349e–136	80,02657	1,32663	0,13010	7,86293	0	0	–3,70420	
4	–4,;93075e-69	41,89169	0,37427	0,99985	7,96111	–0,020461	1,00021	–4,80105	0,9213
5	1,52730e-8	3,77585	0,011217	1,19244	13,14522	0	0	4,35457	0,6294
6	–8,35746e-6	1,97862	0,012755	1,01717	7,55676	0,060658	1,00352	6,13634	0,4563
7	–3,41083e-16	6,77343	0	0	7,91189	8,26111e-7	1	2,51452	0,8994
8	–5,63008e-7	2,23344	0,0045877	1,03250	2,70469	–1,02809e-5	1	3,64260	0,6651
9	0,0092940	2,19661	0,10515	0,99992	7,56131	7,96849e-5	1,02590	–2,04167	0,7055
10	–6,81989e-7	2,72738	0,035661	1,00012	4,15456	–7,23839e-5	1,03938	5,44068	0,5014



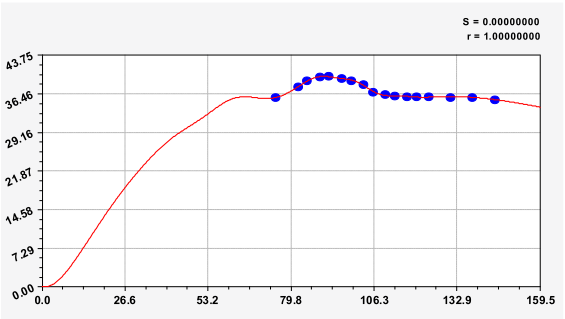
Тренд по биотехническому закону



Первое колебание

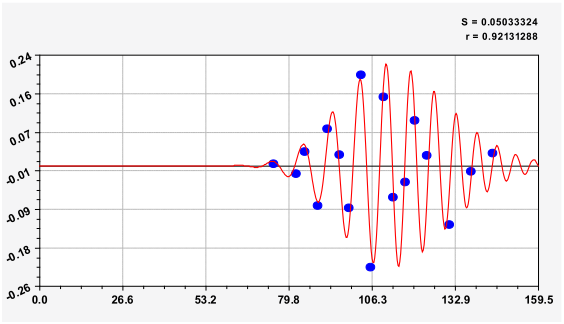


Второе колебание

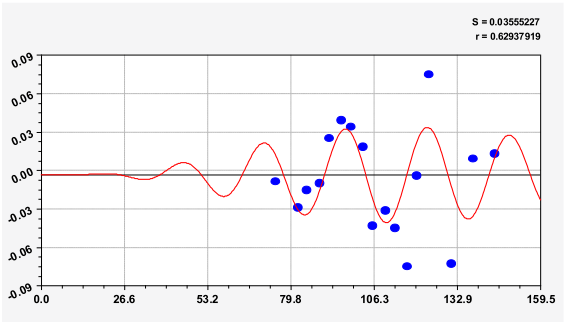


Биотехнический закон и два колебания

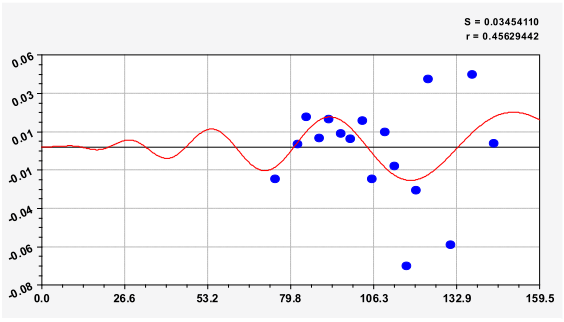
Рис. 4. Графики динамики средней ширины группы из 10 учетных листьев березы повислой



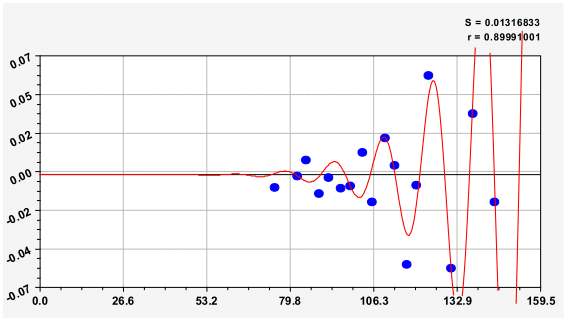
Четвертая составляющая модели (1)



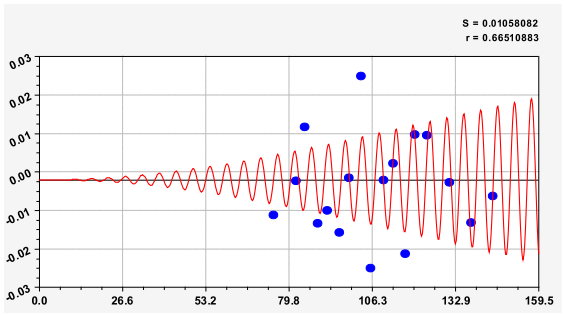
Пятая составляющая



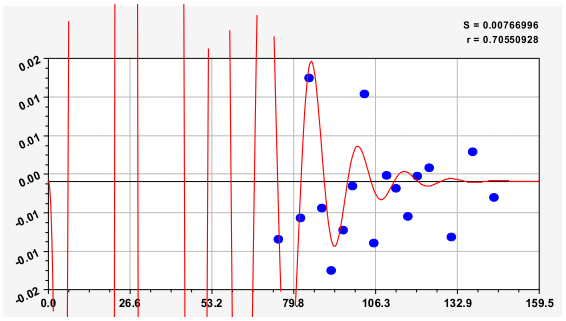
Шестая составляющая



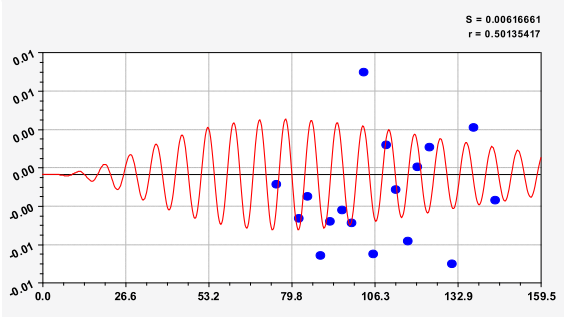
Седьмая составляющая



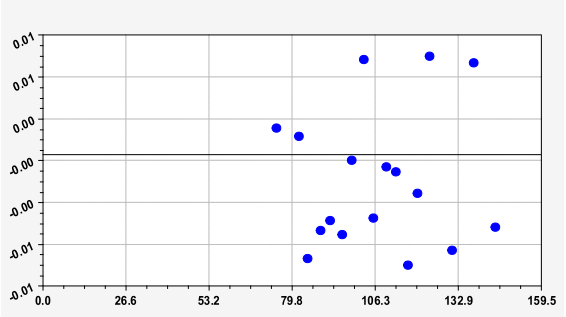
Восьмая составляющая



Девятая составляющая



Десятая составляющая



Остатки после десятой составляющей

Рис. 5. Графики динамики средней ширины группы из 10 учетных листьев березы повислой

Второе колебание показывает сильный тремор после максимума через 92 сутки после 0.1.05.2018 у средней ширины 10 учетных листьев.

Остальные волны колебательного возмущения показаны на рис. 5.

Причина ранней остановки роста заключается в седьмом члене. Здесь амплитуда колебания резко нарастает по показательному закону. В итоге система из множества листьев березы повислой на ул. Эшкинина как бы «идет в разнос». Таким образом, все растения через свои вегетационные органы имеют механизмы колебательной адаптации к окружающей среде не только всего дерева, но и, как будет показано далее, и по отдельным учетным листьям.

В табл. 3 даны параметры моделей динамики каждого из 10 листьев по табл. 1.

Из-за раннего торможения роста дата 15.07 оказалась запоздалой для учетных листьев № 3 и № 1. Лист № 5 получил медленный рост, а лист № 8 до достижения максимума ширины получил только одну минимальную точку. Поэтому нужно для ослабленных деревьев, имеющих плохие классы санитарного состояния, начинать измерения с 10.07 или даже с 01.07. Тогда все учетные листья, даже с худшими физиологическими состояниями, получают возможность идентификации закономерностей по измеренным данным. Коэффициент корреляции у остальных шести листьев выше 0,99. Это доказывает возможность моделирования индивидуально динамики роста каждого учетного листа, что повышает возможности фитоиндикации.

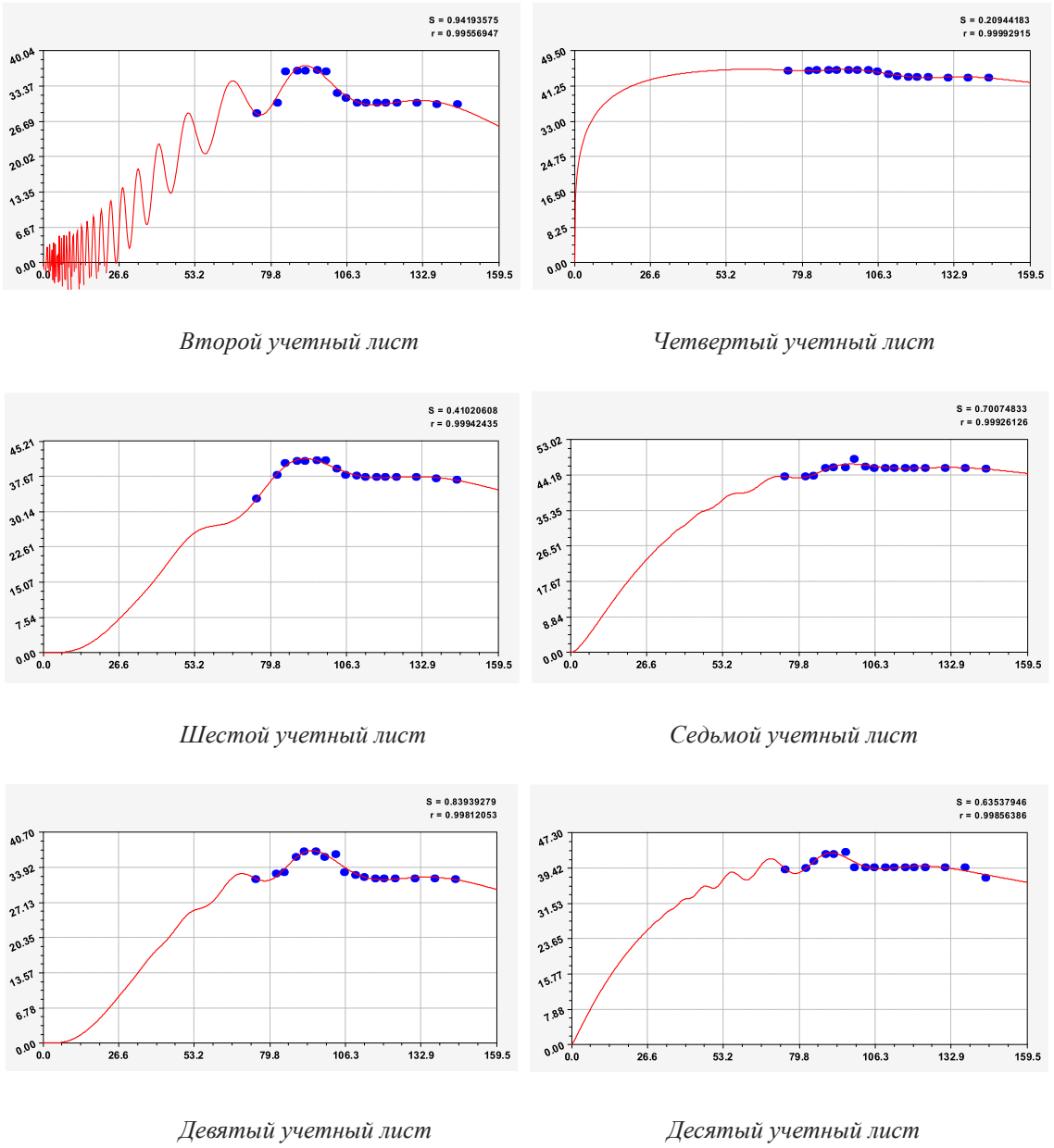
На рис. 6 показаны графики поведения в динамике роста каждого учетного листа.

Второй учетный лист получил сильное колебательное возмущение уже со старта вегетации 01.05.2018 Четвертый лист получил ранние рост и развитие. Поэтому сравнение показывает, что каждый учетный лист, из-за изменчивости микросреды вокруг каждого вегетационного органа, имеет собственную картину поведения. Поэтому нужно использовать приборы, измеряющие метеопараметры и физиологические показатели от каждого учетного листа.

Таблица 3

Модели (1) динамики ширины каждого учетного листа березы повислой

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. корр. r
	Амплитуда (половина) колебания				Полупериод колебания			Сдвиг	
	a_{1i}	a_{2i}	a_{3i}	a_{4i}	a_{5i}	a_{6i}	a_{7i}	a_{8i}	
Первый учетный лист березы повислой на ул. Эшкинина не моделируется									
Второй учетный лист									
1	2,45859e7	12,04915	30,61914	0,17640	0	0	0	0	0,9956
2	2,74472	0,40913	0,017410	1	0,13872	0,015508	1	2,40441	
Третий учетный лист не моделируется									
Четвертый учетный лист									
1	23,05398	0,30760	0,076063	0,49920	0	0	0	0	0,9999
2	2,05754e-20	11,89785	0,086420	1,03522	18,18754	0,00011413	1,99469	3,28656	
Пятый учетный лист, моделируется только тренд									
Шестой учетный лист									
1	1,88897e6	10,38497	26,28833	0,17413	0	0	0	0	0,9994
2	1,22163e-15	10,48126	0,12818	1	8,59950	0,071161	1	0	
Седьмой учетный лист									
1	0,87549	2,313443	1,45493	0,331123	0	0	0	0	0,9993
2	7,90984e-13	8,41780	0,18484	0,88813	0,54963	0,016879	1,06059	5,51059	
Восьмой учетный лист, моделируется только тренд									
Девятый учетный лист									
1	2,28361e6	9,71912	25,01316	0,17443	0	0	0	0	0,9981
2	8,84779e-13	20,91926	16,43723	0,30733	3,80694	0,0039357	1,45025	0,32783	
Десятый учетный лист									
1	1,19530	1,19843	0,11066	0,62734	0	0	0	0	0,9986
2	5,35516e-16	11,09754	0,26600	0,88222	0,25417	0,013188	1,03976	–4,70878	



Второй учетный лист *Четвертый учетный лист*

Шестой учетный лист *Седьмой учетный лист*

Девятый учетный лист *Десятый учетный лист*

Рис. 6. Графики динамики ширины учетных листьев березы повислой

Заключение

По патенту 2606189 на изобретение сбоку на высоте 1,5–2,0 м со стороны преобладающих ветров по динамике с 15 июля по 23 сентября 2018 г. измерялась ширина 10 учетных листьев у ослабленной березы около автомобильной дороги на ул. Эшкинина г. Йошкар-Ола. Доказано, что для таких деревьев начало измерений нужно сдвинуть до 01–10.07.

На каждый учетный лист время вегетации около максимума влияет с коэффициентом корреляции более 0.99, поэтому можно измерять параметр микросреды даже вокруг каждого учетного листа. Вегетационные органы имеют механизмы колебательной адаптации к окружающей среде не только всего дерева, но и по отдельным учетным листьям.

Способность учетных листьев березы повислой давать отклик с высокой точностью на изменения микросреды вокруг каждого из них расширяет возможности *косвенного биотестирования*, причем без сопоставления с трудоемкими химическими загрязнениями.

Список литературы / References

1. Crowther T.W., Glick H.B., Covey K.R., Bettigole C., et al. Mapping tree density at a global scale. Nature. 2015. V. 525. P. 201–205. DOI: 10.1038/nature14967.

2. Баранова А. Больше всего деревьев на Земле растет в России. National Geographic Россия. 2015. [Электронный ресурс]. URL: https://www.nat-geo.ru/nature/762321-bolshe-vsego-derevev-na-zemle-rastet-v-rossii (дата обращения: 18.08.2019).

Barinova A. Most of the trees on Earth grow in Russia. National Geographic Russia. 2015. [Electronic resource]. URL: https://www.nat-geo.ru/nature/762321-bolshe-vsego-derevev-na-zemle-rastet-v-rossii (date of access: 18.08.2019) (in Russian).

3. Foster G.L., Royer D.L., Lunt D.J. Future climate forcing potentially without precedent in the last 420 million years. Nature communications. 2017. V. 4. Iss. 8. P. 14845. DOI: 10.1038/ncomms14845.

4. Mdenpp M. Impacts of temperature and ozone on carbon retention processes of birch and aspen *Dissertations in Forestry and Natural Sciences.* Finland, Joensuu, on June, 08, 2012, 54 p.

5. Büntgen U., Wacker L., Galván J.D., Arnold S., et al. Tree rings reveal globally coherent signature of cosmogenic radiocarbon events in 774 and 993 CE. Nature communications. 2018. V. 9. P. 3605. DOI: 10.1038/s41467-018-06036-0.

6. Mazurkin P.M., Kudrjashova A.I. Factor analysis of annual global carbon dynamics (according to Global_Carbon_Budget_2017v1.3.xlsx). Materials of the International Conference «Research transfer» – Reports in English (part 2). November 28. Beijing: PRC, 2018. P. 192–224.

7. Zhang Y., Bielory L., Georgopoulos P. Climate change effect on Betula (birch) and Quercus (oak) pollen seasons in US. Int. J. Biometeorol. 2014. V. 58. Iss. 5. P. 909–919. DOI:10.1007/s00484-013-0674-7.

8. Mazurkin P.M. Method of identification. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. Albena, 2014. V. 1 (6). P. 427–434.

9. Polgar C.A., Primack R.B. Leaf-out phenology of temperate woody plants: from trees to ecosystems. New Phytologist. 2011. V. 191(4). P. 926–941. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2011.03803.

10. Rousi M., Pusenius J. Variations in phenology and growth of European white birch (Betula Pendula) clones. Tree Physiology. 2005. V. 25. P. 201–210. DOI: 10.1093/treephys/25.2.201.

УДК 551.43:620.191:678.067

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ УСТАНОВКИ ДАТЧИКА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Махмудов Х.Ф.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург,
e-mail: h.machmoudov@mail.ioffe.ru

Разработка приведенной схемы держателя датчика акустической эмиссии (ДДАЭ) вызвана необходимостью иметь возможность извлечения регистрирующих датчиков из скважины. Современный уровень развития технологий делает датчики интеллектуальным и дорогостоящим элементом системы контроля, и они уже не являются просто расходным материалом. Акустический контакт между породным массивом и датчиком может деградировать со временем по различным причинам, что вызывает необходимость их переустановки. Это обстоятельство позволяет оперативно использовать одни и те же датчики с изменением места их установки. Испытан разработанный ДДАЭ. Для обоснования выбора датчиков акустической эмиссии (АЭ) в подземных сооружениях также был изготовлен и калиброван для измерения напряжений в упругой волне пьезоприемник, в котором чувствительным элементом служила пьезопленка (эталонный пьезоприемник). Этот приемник, в отличие от приемников, выполненных на базе пьезокерамических элементов, обладает существенно меньшей нелинейностью амплитудно-частотной характеристики. Проведено измерение спектрального состава отклика массива горных пород на возбуждение его ударом стального шара массой m = 4,46 кг, а также проведена оценка энергии в упругой волне, формируемой от удара шаром. Проведено сопоставление сигналов и спектров сигналов колебаний от разных датчиков при возбуждении упругой волны путем удара шаром по породе с результатами регистрации сигналов эталонным датчиком, на основе чего определены реальные амплитудно-частотные характеристики применяемых датчиков АЭ (с держателем) и энергетические параметры сигналов. Эти результаты подтвердили правильность и надежность установки держателя датчика в скважинах диаметром 76 мм на глубину 6–8 м. При этом необходимое качество акустического контакта достигнуто тщательной подготовкой скважины (промывка), использованием закладной детали, которая бетонируется в скважине, с последующей установкой на нее через консистентную смазку датчика АЭ с механическим поджимом.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, датчик, частотный диапазон, пьезопреобразователь, породный массив

DEVELOPMENT OF DEVICE FOR INSTALLATION OF ACOUSTIC EMISSION SENSOR IN MINE WORKINGS

Makhmudov Kh.F.

Institute of Physics and Technology A.F. Ioffe, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg,
e-mail: h.machmoudov@mail.ioffe.ru

The development of the acoustic emission sensor holder (DDAE) scheme is caused by the need to be able to extract the recording sensors from the well. The current level of technology makes sensors intelligent and expensive element of the control system and they are no longer just consumables. The acoustic contact between the rock mass and the sensor can degrade over time for various reasons, which necessitates their reinstalling. This fact allows you to quickly use the same sensors with a change in the place of their installation. Tested developed DDE. To justify the choice of acoustic emission (AE) sensors in underground structures, a piezoelectric receiver was also manufactured and calibrated to measure stresses in an elastic wave, in which a piezoelectric film (a reference piezoelectric receiver) served as a sensing element. This receiver, in contrast to the receivers made on the basis of piezoceramic elements, has significantly lower nonlinearity of the amplitude-frequency response. The spectral composition of the rock mass response to its excitation by a steel ball of mass m = 4.46 kg was measured, and the energy in the elastic wave formed by the impact of the ball was estimated. A comparison of the signals and spectra of signal fluctuations from the different sensors in the excitation of elastic waves by hitting the ball on the breed with the registration of signals of the reference sensor, based on the determined real amplitude-frequency characteristics of the used AE sensors (with holder) and the energy parameters of signals. These results confirmed the validity and reliability of the installation of a sensor mount in holes with a diameter of 76 mm at a depth of 6-8m. the necessary quality of the acoustic contact is achieved by careful preparation of the well (washing), use of a fixture, which is concreted in the borehole, with the subsequent installation on it using grease of the AE sensor with the mechanical sealing.

Keywords: acoustic emission, sensor, frequency range, piezoelectric transducer, rock mass

Акустическая эмиссия – эффективный метод неразрушающего контроля (НК), основанный на регистрации упругих колебаний (акустических волн), генерирующихся при различных процессах, происходящих в объекте контроля, таких как деформации напряженного материала, истечения газов, жидкостей, кристаллизации материала и других.

Метод позволяет проводить контроль самых различных технологических процессов, а также процессов, связанных с изменением свойств, структуры и состояния объекта.

Область контроля методом акустической эмиссии значительно больше, чем у других методов неразрушающего контроля. Максимальная эффективность применения метода

достигается при контроле крупногабаритных и протяженных объектов, таких как трубопроводы, резервуары и строительные подземные конструкции. Метод имеет значительно меньшие ограничения, связанные со свойствами и структурой объекта по сравнению с другими методами НК. Высокая чувствительность метода к растущим и развивающимся дефектам позволяет выявлять их на ранней стадии, оценивать степень опасности и скорость их развития. Для обработки потока акустической эмиссии используются известные методы радиотехники и обработки цифровой информации Получаемые данные АЭ системой мониторинга A-Line по каждому файлу преобразуются программными средствами A-Line в текстовый формат, доступный для последующей обработки [1–3].

Для каналов АЭ, относящихся к датчикам, установленным в одной скважине, применяется метод линейной локации определения координат источников АЭ.

Если к двум датчикам, установленным в одну скважину, будут добавлены в данном целике дополнительные датчики и суммарное их количество будет более трех каналов, то возможно использование объемной локации АЭ. Разработан и применяется алгоритм расчета координат на основе метода Нелдера – Мида (симплекс-метода) нахождения локального минимума функции от нескольких переменных [4]. Для двух переменных симплексом является треугольник, и метод – это схема поиска, который сравнивает значения функции в трех вершинах треугольника. Наихудшая вершина (с наибольшими значениями функции) отбрасывается и заменяется новой вершиной, и поиск продолжается. После определения наилучшего приближения (X, Y, Z) для данного набора разностей времен прихода (РВП), исходя из полученных (X, Y, Z), вычисляется соответствующий набор РВП и определяется невязка определения координат. Основные требования [5, 6] и обоснование выбора датчиков акустической эмиссии (ДАЭ) для использования в скважинах диаметром 76 мм:

– долговечность;

– частотный диапазон регистрации 0,2–30 кГц.

– ремонтопригодность;

– извлекаемость.

Имеющиеся на рынке держатели датчиков АЭ [7] не отвечают всей совокупности требований. Это поставило задачу проектирования и разработки схемы необходимого держателя датчика АЭ

Способ раскрепления ДДАЭ в скважинах диаметром 76 мм

Предложенная конструкция схема ДДАЭ показана ниже на рис 1.

Такой способ установки датчика обеспечивает надежный акустический контакт с породным массивом, простоту и безопасность установки и извлечения АЭ датчика, включая кабель связи датчика с регистрирующим каналом.

Его раскрепления в скважине диаметром 76 мм в дно скважины, (на расстоянии 5–8 м от поверхности), в зоне техногенного неразрушенного породного массива, бетонируется закладная деталь из стали (рис. 2). На нее через консистентную смазку (ЦИАТИМ, литол) устанавливается АЭ датчик, который механически поджимается резьбовым соединением.

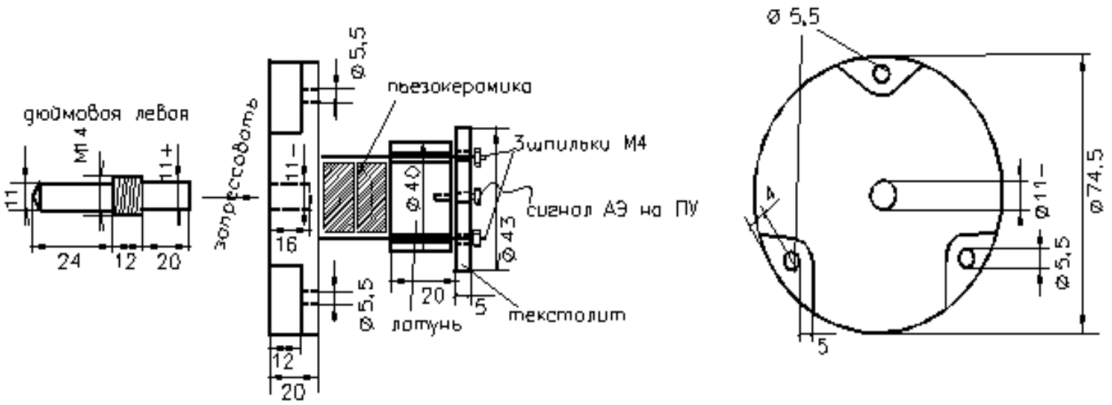


Рис. 1. ДДАЭ со шпилькой крепления датчика АЭ к закладной детали (дюймовая левая, материал – нержавеющая сталь)

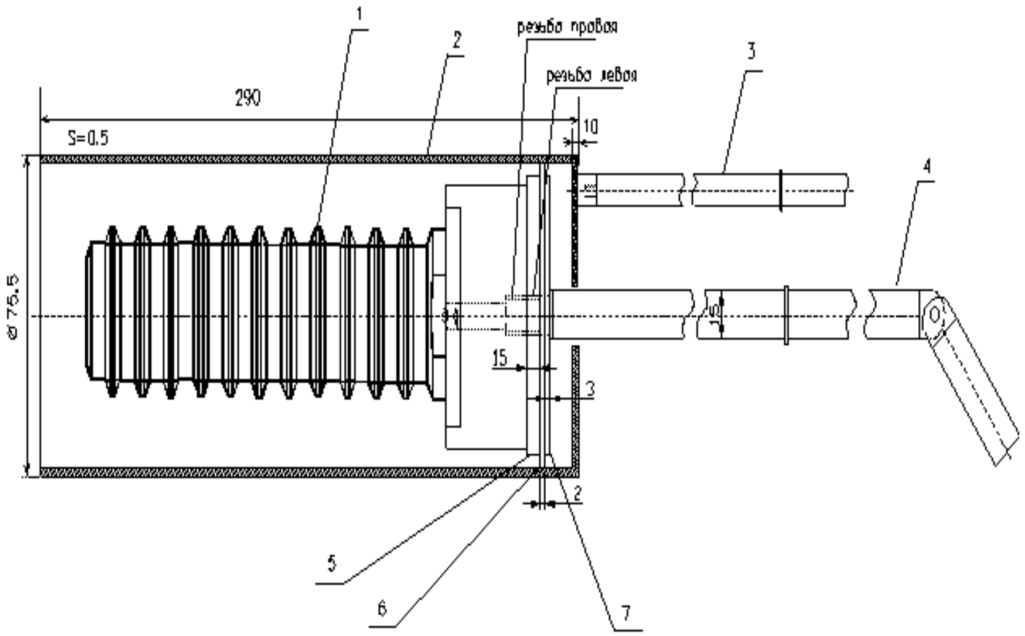


Рис. 2. Схема закладной детали и приспособления для установки в скважину диаметром 76 мм

Схема приспособления для установки закладной детали в скважину приведена на рис. 2.

Разборные штанги основания и вспомогательная состоят из четырех колен, каждое длиной 2 м, соединяемых разборными соединениями Основная штанга дополнительно комплектуется элементом с поворотным рычагом длиной 0,5 м

1. Закладная деталь. 2. Стальной стакан. 3. Разборная штанга вспомогательная. 4. Разборная штанга основная. 5. Стальная шайба с резьбой в отверстии. 6. Резиновая шайба. 7. Стальная шайба.

Проведение раскрепления закладной детали ДДАЭ в скважине диаметром 76 мм проводится следующим образом:

Подготовленная к установке ДДАЭ скважина тщательно промывается водой.

В стальной стакан 2 (рис. 2) вставляются последовательно шайбы 7, 6 и 5. Затем с противоположной стороны стакана вставляется элемент основной штанги 4 (длина 2 м) и накручивается на шайбу 5. В стакан 2 вставляется закладная деталь 1 и накручивается с применением смазки (литол) на штангу 4. Свободный объем стакана 2 заполняется цементным раствором пастообразной консистенции. Стакан 2 с закладной деталью 1 вставляется в скважину примерно на 2/3 своей длины и в него закручивается вспомогательная штанга 3 (первый элемент длиной 2 м). Стакан 2 продвигается в скважину на 2 м штангой 3 и обе штанги удлиняются путем накручивания очередных элементов по одному на каждую штангу. Процедура повторяется до тех пор, пока стакан не будет продвинут до дна скважины. Затем производится фиксация основной штанги 4 к стенке скважины клиновым распором (или винтовым домкратом). После надежной фиксации штанги 4 проводят предварительное извлечение стакана из скважины путем осторожного вытягивания штанги 3 с поочередным демонтажем элементов до появления стакана 1 в зоне раскрепления штанги 4. Проводится удаление раскрепляющего устройства штанги 4 с ручной фиксацией ее для исключения перемещения закладной детали 1 от дна скважины.

Извлекают стакан 2 из скважины. Осторожно вручную (без применения ударного воздействия) проводится досылка закладной детали 1 до дна скважины (1–5 см) для удаления воздушного кармана между торцом закладной детали 1 и дном скважины. Повторно фиксируют штангу 4 к стенке скважины. Оставляют фиксированную штангу на время (до 2 суток), необходимое для предварительного затвердевания цементного раствора. После предварительного затвердевания цементного раствора штангу 4 выворачивают из закладной дета-

ли 1 и извлекают из скважины; В подготовленную скважину ДДАЭ устанавливается после окончательного затвердевания цементного раствора.

Держатель датчика АЭ и испытания

Держатель датчика АЭ предлагаемой конструкции прошел успешные испытания на горнодобывающих предприятиях России [8]. Методика регистрации АЭ включает в себя как общие для всех объектов положения: установка датчика АЭ, передача сигнала после предварительного усиления по удаленной линии на входные каскады регистрирующей аппаратуры, усиление, выделение и оцифровка сигнала, запись параметров в базу данных, так и индивидуальные, определяемые спецификой объектов контроля [9–11]. К последним относится правила расстановки АЭ датчиков на объекте. Для решения первой задачи (контроль активности АЭ) теоретически достаточно одного АЭ датчика, но практически рекомендуется установка по одному датчику на двух соседних поверхностях целика (подземные приемы) и разнесенных по вертикали. Для решения (локация источников АЭ) оптимальным является размещение по одному АЭ датчику на каждой из четырех свободных поверхностей целика и также разнесенные по его высоте, четвертый датчик в зоне его перехода в породный массив. Кроме того, эффективным решением проблемы фильтрации техногенных шумов является установка двух «сторожевых» АЭ датчиков: одного у основания целика (бетонная обделка), а второго – в зоне приконтурной части горного массива (рис. 3 и рис. 4).

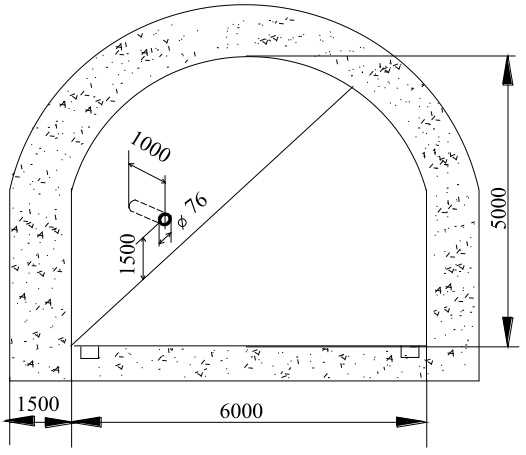


Рис. 3. Схема замеров для установки ДДАЭ в крепи части бетонной обделки

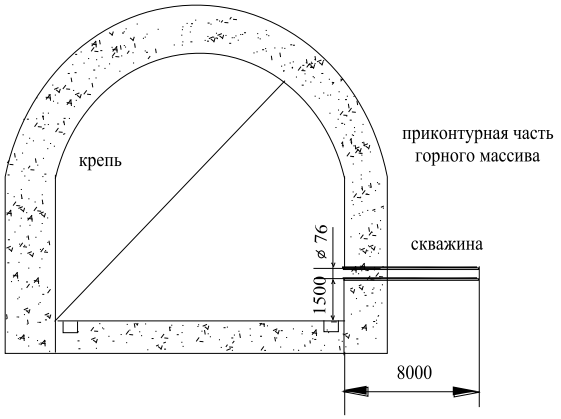


Рис. 4. Схема замеров для установки и испытания ДДАЭ в приконтурной части горного массива

Упругая волна от дефекта, распространяющаяся в породном массиве, преобразуется пьезокерамическим элементом датчика в электрический сигнал. Затем производится усиление электрического сигнала предварительным усилителем (ПУ). Система АЭ мониторинга на многих подземных сооружениях укомплектована датчиками типа ПЭ 3-60. В датчике ПЭ 3-60 предварительный усилитель конструктивно размещен обычно в одном корпусе с пьезопреобразователем АЭ. Датчики (ДДАЭ) были забетонированы попарно в на глубине примерно 5 м и 20 м.

Сигнал АЭ после усиления предварительным усилителем, встроенным в интегральный датчик АЭ, передается в модуль АЭ (расположен обычно у устья скважины или не далее 80 м от него), в котором он оцифровывается аналого-цифровым преобразователем (АЦП), проходит предварительную обработку и передается на систему согласующих устройств по удаленной линии на центральную вычислительную систему (ЦВС) системы A-Line DDM для регистрации, записи на долговременный носитель для хранения информации и обработки.

Частотный диапазон регистрации ограничен снизу частотой собственных колебаний структурного элемента горного массива, где установлен датчик АЭ (ДДАЭ). Например, на рис. 5 показаны результаты прозвучивания целика в районе скважины.

Из рис. 5 видно, что по каналу, обозначенному красным цветом, зарегистрирован добротный процесс на низкой частоте, где установлен ДДАЭ.

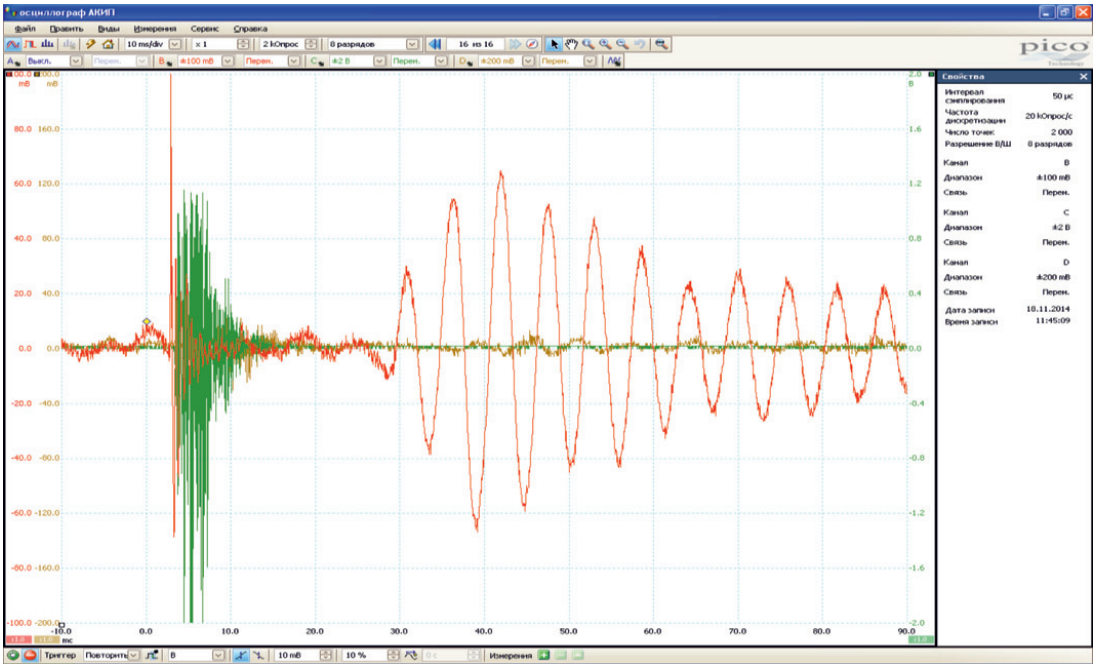


Рис. 5. Сигналы, зарегистрированные в районе скважины при ударном возбуждении волны в целике

Подробное описание передачи сигнала АЭ по удаленной линии и функционирование системы АЭ мониторинга изложено в технической документации на систему A-Line DDM [1].

Выводы

Разработан держатель датчика АЭ со шпилькой крепления датчика АЭ к закладной детали (дюймовая левая, материал – нержавеющая сталь).

Испытан разработанный держатель датчика АЭ по результатам этих экспериментов от организации ФГУП «ГХК» «Росатом», получен акт (№ 212-25-60-01/2379 от 15.05.2018 г.) о внедрении (использовании) результатов работы Х.Ф. Махмудова.

Важной особенностью предлагаемой схемы установки является извлекаемость регистрирующих датчиков.

Список литературы / References

1. Бигус Г.А., Даниев Ю.Ф. Техническая диагностика опасных производственных объектов. М.: Наука, 2010. 415 с.

Bigus G.A., Daniev Yu.F. Technical diagnostics of hazardous production facilities. M.: Science, 2010. 415 p. (in Russian).

2. Многоканальные АЭ системы. [Электронный ресурс]. URL: http://www.aetest.ru/?s=Многоканальные+АЭ+системы (дата обращения: 21.08.2019).

Multichannel AE systems. [Electronic resource]. URL: http://www.aetest.ru/?s=Многоканальные+АЭ+системы (date of access: 21.08.2019) (in Russian).

3. Федеральные нормы и правила в области «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности», утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 ноября 2013 года № 538. 3. [Электронный ресурс]. URL. https://legalacts.ru/doc/prikaz-rostekhnadzora-ot-14112013-n-538-ob/ (дата обращения: 21.08.2019).

4. Савельев В.Н., Савельев Д.В., Тишкин А.П. Акустико-эмиссионный контроль технических устройств в эксплуатационном режиме на опасных производственных объектах // Безопасность труда в промышленности. 2011. № 7. С. 22–27.

Savelyev V.N., Savelyev D.V., Tishkin A.P. Acoustic emission monitoring of technical devices in operational mode at hazardous production facilities // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2011. № 7. P. 22–27 (in Russian).

5. РД 03-300-99. Требования к преобразователям акустической эмиссии, применяемым для контроля опасных производственных объектов. [Электронный ресурс]. URL: https://legalacts.ru/doc/postanovlenie-gosgortekhnadzora-rf-ot-15071999-n-52-ob-utverzhdenii/ (дата обращения: 21.08.2019).

6. РД 03-299-99. Требования к акустико-эмиссионной аппаратуре, используемой для контроля опасных производственных объектов. [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200026164 (дата обращения: 21.08.2019).

7. Держатель немагнитный. [Электронный ресурс]. URL: http://strategnk.ru/services/datchiki-aek/derzhatel-nemagnitnyy/ (дата обращения: 21.08.2019).

The holder is non-magnetic. [Electronic resource]. URL. http://strategnk.ru/services/datchiki-aek/derzhatel-nemagnitnyy/ (date of access: 21.08.2019) (in Russian).

8. Махмудов Х.Ф., Савельев В.Н., Савельев Д.В., Медведев В.Н., Круглов С.Ю. Проведение натурных исследований акустических свойств горного массива и бетонной обделки в подземных сооружениях ФГУП «горно-химического комбината» – предприятие госкорпорации «Росатом» // XXIII Петербургские чтения по проблемам прочности, посвященные 100-летию ФТИ им.А.Ф.Иоффе и 110-летию

со дня рождения чл.-корр. АН СССР А.В. Степанова. 10–12 апреля 2018. Санкт-Петербург, 2018. С. 136–137.

Mahmudov Kh.F., Saveliev V.N., Saveliev D.V., Medvedev V.N., Kruglov S.Yu. Conducting field studies of acoustic properties of rock mass and concrete lining in underground structures of FSUE «mining and chemical plant» – the enterprise of the state Corporation «Rosatom « // XXIII Peterburgskiye chteniya po problemam prochnosti, posvyashchennyye 100-letiyu FTI im.A.F.Ioffe i 110-letiyu so dnya rozhdeniya chl.-korr. AN SSSR A.V. Stepanova. 10–12 aprelya 2018. Sankt-Peterburg, 2018. P. 136–137 (in Russian).

9. Бигус Г.А., Даниев Ю.Ф., Быстрова Н.А., Галкин Д.И. Диагностика технических устройств. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 615 с.

Bigus G.A., Daniel J.F., Bystrov N.A., Galkin D.I. Diagnostics of technical devices. M.: Izd. MGTU im. N.E. Baumana, 2014. 615 p. (in Russian).

10. Махмудов Х.Ф., Менжулин М.Г., Захарян М.В., Султонов У., Абдурахманов З.М. Диагностика потери устойчивости нагруженных конструкций и развитие очагов разрушения при воздействии сейсмовзрывных и ударных воздушных волн // Журнал технической физики. 2015. Т. 85. С. 79–85.

Makhmudov Kh.F., Menzhulin M.G., Zakharyan M.V., Sultonov U., Abdurakhmanov Z.M. Diagnostics of the loss of stability of loaded constructions and the development of the sites of breakdown during the action of seismic explosion and air shock waves Technical Physics. The Russian Journal of Applied Physics. 2015. T. 60. № 11. P. 1651–1657. DOI: 10.1134/S1063784215110201.

11. Куксенко В.С., Махмудов Х.Ф. Экспериментальное и теоретическое изучение актов трещинообразования в гетерогенных материалах // Геология геофизика. 2017. Т. 58. № 6. С. 915–923. DOI: 10.15372/GiG20170607.

Kuksenko V.S., Makhmudov K.F. Fracture in heterogeneous materials: experimental and theoretical studies. Russian Geology and Geophysics. 2017. T. 58. № 6. P. 738–743. DOI: 10.1016/j.rgg.2016.09.030.

УДК 911.37(470.41)

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОГРАФИИ СЕЛЬСКОГО РАССЕЛЕНИЯ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ РАЙОНА ПРЕДКАМЬЯ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Мухаметов А.Р.

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, e-mail: muhametov@inbox.ru

В данной статье рассматриваются некоторые аспекты и факторы, влияющие на географию сельского расселения и размещения сельских населенных пунктов на примере географического района Предкамья Республики Татарстан: исторические, географические, социально-бытовые, транспортные и другие. Динамика ключевых показателей демографических процессов сельского населения в республике рассматривается на примере типичных сельских районов. Приводится краткий исторический экскурс в расселение территории Предкамья с древних времен. Описываются фундаментальные принципы заселения на основе очерка Вениамина Петровича Семенова-Тян-Шанского и современных исследователей населения. Анализируются особенности и специфика заселения и расселения населения, принципы размещения населенных пунктов на изучаемой территории. Указывается на огромное влияние речной сети реки Кама на первоначальную географию расселения. Описываются внутренние территориальные различия плотности населения и анализируются причины. Территориально описывается расселение по национальному признаку и указываются исторические аспекты размещения основных этносов. Анализируются основные демографические процессы, такие как рождаемость, смертность, убыль и прирост населения в динамике за несколько последних лет, и выявляются положительные и отрицательные тенденции на примере конкретных районов Предкамья. Проводится анализ динамики сельского населения и причины уменьшения численности данной категории на основе статистических данных и Всероссийской переписи населения. Акцентируется внимание на размещении сельских населенных пунктов в пригородных районах г. Казани. Актуализируется проблема исчезновения сельских населенных пунктов. По данным Всероссийских переписей населения 2002 и 2010 гг., идет неуклонный процесс роста количества малонаселенных и обезлюдевших сельских населённых пунктов. В статье приводится статистика исчезнувших сельских населенных пунктов Предкамья с 1920 г. по настоящее время. В завершение статьи представлен краткий вывод о проблемах сельского населения.

Ключевые слова: сельское население, населенные пункты, естественное движение, национально-бытовые особенности, расселение, исчезнувшие населенные пункты

SOME FEATURES OF GEOGRAPHY OF RURAL DISTRIBUTION AND SETTLEMENTS OF THE PRE-KAMA REGION OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Mukhametov A.R.

Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, e-mail: muhametov@inbox.ru

This article discusses some aspects and factors affecting the geography of rural settlement on the example of the geographical region of the Pre-Kama in the Republic of Tatarstan: historical, geographical, social, transport and others. The dynamics of key indicators of the demographic processes of the rural population in the republic is considered on the example of typical rural areas. A brief historical excursion into the resettlement from ancient times is given. The fundamental principles of settlement are described on the basis of the essay by Veniamin Petrovich Semenov-Tyan-Shansky and modern researchers of the population. The features and specifics of population settlement and the principles of the location of settlements in the studied area are analyzed. The huge role of the Kama river network in the initial geography of settlement is highlighted. The internal territorial differences in population density are described, and the reasons are analyzed. Geographically, resettlement is described on a national basis, and historical aspects of the distribution of the main ethnic groups are indicated. The main demographic processes, such as fertility, mortality, population decline and population growth over the past few years, are analyzed and positive and negative trends are identified using specific regions of the Pre-Kama area as an example. An analysis is made of the dynamics of the rural population and the reasons for the decrease in the size of this category on the basis of statistical data and the All-Russian population census. Attention is focused on the location of rural settlements in the suburban areas of the city of Kazan. The problem of the disappearance of rural settlements is becoming more relevant. According to the data of the All-Russian population censuses of 2002 and 2010, there is a steady process of growth in the number of sparsely populated and depopulated rural settlements. The article provides statistics on the disappeared rural settlements of the Pre-Kama area from 1920 to the present. The article concludes with a brief conclusion on the problems of the rural population.

Keywords: rural population, settlements, natural movement, national and household features, resettlement, disappeared settlements

В текущее время система расселения сельского населения находится в состоянии, при котором возможны различные пути ее развития, зависящие от множества факторов, как внешних, так и внутренних. Следовательно, актуальным является научно-практическое изучение развития системы сельского расселения населения и населенных пунктов. Сохранение сельского населения и населенных пунктов является

важнейшим гарантом сохранения самобытности многонационального населения нашей страны. Анализ основных тенденций расселения сельского населения и размещения сельских населенных пунктов позволит сформировать эффективную стратегию развития сельского населения, сбалансировать демографические процессы. Для определения динамики ключевых показателей демографических процессов сельского населения в республике рассмотрим пример типичной сельской территории. В учебнике А.С. Тайсина «География Республики Татарстан» с учетом особенностей конца двадцатого века и специфики республики тех лет выделены 6 экономико–географических районов. В настоящее время есть несколько вариантов регионального зонирования республики. В данной статье описано исследование сельского населения района Предкамье, включающего в себя территорию следующих районов: Атнинского, Арского, Балтасинского, Кукморского, Сабинского, Тюлячинского, Мамадышского, Рыбно-Слободского, Лаишевского, Пестречинского и Высокогорского.

Цель исследования: показать основные аспекты и факторы, влияющие на географию сельского расселения и размещения сельских населенных пунктов, определить актуальные тенденции сельского населения, обозначить проблемные точки в демографических процессах сельских районов Предкамья. В настоящее время сокращение населения, особенно сельского, является проблемой, которая не может не волновать каждого жителя нашей страны.

Материалы и методы исследования

Изучение и выявление положительных примеров может послужить возможностью масштабировать лучшие практики на всю страну. Анализ исторических и научных источников, сравнительный анализ статистических данных всероссийских переписей населения и карт размещения населения, динамики численности населения, плотности сельского населения атласа Республики Татарстан по району Предкамья позволили определить основные тенденции развития сельского населения и нюансы, которые присущи только данному региону.

С давних времен на землях, составляющих ныне территорию Предкамья, жили различные народы, представление о культуре жизни человека раннего первобытного строя на территории дают археологические раскопки, проведенные в районах Предкамья. К эпохе средневековья относятся следы сельских поселений, городище курган, следы средневековых кладбищ, раскопанные поселения периодов Золотой Орды и Казанского ханства. Примеры исчезнувших исторических городищ имеются в Арском, Лаишевском и др. районах (Иске Казан – XV в., Кашан XIV в.) [1, с. 135].

Основные закономерности и принципы расселения европейской части России в 1910 г. описал В.П. Семенов-Тян-Шанский. В его очерке «Город и деревня в Европейской России» описана типология русского заселения Европейской равнины. В очерке описаны принципы размещения сельских населенных пунктов в соответствии с историческими событиями. «Обыкновенно представляют себе, что древнее земледельческое заселение Европейской России произошло по обширной речной сети с разветвлениями последней во все стороны…. Водно-волосковое сообщение, развитое, вероятно, варягами, составляет характерную черту Европейской России в средние века» [2, с. 9]. Тем самым ученый выделяет, что основным способом первичного заселения территории была речная сеть. В очерке ученый выделяет три типа заселения равнины: Центральный нечерноземный и северо-западный, земледельческий, Северный, промысловый по преимуществу и лишь в слабой степени земледельческий, Южный черноземный, исключительно земледельческий, тяготеющий к речным долинам к источникам питьевой воды. Принципы заселения, описанные ученым, подтверждаются и современными исследователями географии расселения. Так в своем учебном пособии «География населения и населенных пунктов Татарстана» М.Р. Мустафин приводит примеры формирования стабильных населенных пунктов, которые тесно связаны с характером занятий населения. «Рыболовы устраивали свои селения на берегу наиболее рыбных участков рек (Например, с. Рыбная Слобода), охотники – в лесах, наиболее богатых промысловыми животными (д. Куян), земледельцы – на плодородных землях (д. Сабан) [3, с. 5]. Соответствие классической типологии заселения прослеживается и на территории Предкамья. Основные древние заселения, существующие и по сей день, расположены на берегу крупных рек и средних рек, также на водоразделах (с. Рыбная Слобода, п. Арск, г. Мамадыш, г. Кукмор). Концентрация сельских населенных пунктов также велика вдоль реки Кама, это деревни и села Мамадышского, Рыбно-Слободского – Юж-

ное Предкамье. Существенные коррективы размещения населения вдоль береговой линии реки Кама, в части вынужденного переселения целых населенных пунктов, внесло создание Куйбышевского водохранилища. Более малочисленные сельские населенные пункты располагались вдоль малых рек, которые впадают в р. Волга, Кама, Вятка. Так вдоль р. Казанки, впадающей в р. Волгу, расположены селения Арского района (д. Казанбаш, п. Урняк и др.). Множество сельских населенных пунктов расположены вдоль малых рек Предкамья, таких как Меша, Бурец, Ошторма, Ашит, Шошма, Кушкет, Бетька, Суша, Шумбут, Искубаш, Шия, Уча, Анзирка, Ошма, Лубянка, Нурминка и др.

На развитие размещения населения также существенно оказывают влияние социально-экономические факторы (промышленность, сельское хозяйство, транспорт). Значительное влияние на появление сельских населенных пунктов оказала прокладка железных дорог: Москва – Казань – Кукмор – Екатеринбург. Вдоль и вблизи магистрали расположены районные центры и крупные населенные пункты Предкамья (п. Арск, с. Балтаси, с. Шемордан, г. Кукмор, с. Высокая Гора).

Начиная с 1950-х гг. на размещение сельских населенных пунктов и динамику численности сельского населения Предкамья оказало существенное влияние интенсивное развитие промышленности в республике. Сельское население районов Предкамья в данный период переезжало на постоянную работу на промышленных предприятиях.

Динамика численности населения Предкамья РТ (чел.)
[статистические данные с официального сайта Татарстанстата]

Район\Год	Тип	2002	2010	2012	2018
Арский	общее	51 343	51 667	51 808	52 265
	сельское	34132	33553	33281	31725
	городское	17 211	18114	18 527	20 540
Атнинский	общее	14 411	13 650	13 477	13 013
	сельское	**14411**	**13650**	**13477**	**13013**
Кукморский	общее	53 691	52021	51644	50893
	сельское	36927	35103	34577	33140
	городское	16 764	16918	17 067	17 753
Тюлячинский	общее	14 401	14 273	14 179	13 902
	сельское	**14401**	**14273**	**14179**	**13902**
Балтасинский	общее	32 967	33 879	33 920	33 439
	сельское	25971	26168	26106	25151
	городское	6996	7711	7814	8288
Мамадышский	общее	48 075	45 005	44 417	42 550
	сельское	34566	30570	29723	26744
	городское	13 509	14435	14 694	15 806
Сабинский	общее	31 317	31 038	31 107	31 269
	сельское	24121	23367	23191	22522
	городское	7196	7671	7916	8747
Рыбно-Слободский	общее	29 653	27 630	27 315	25 440
	сельское	22476	19956	19447	17754
	городское	7177	7684	7868	7686
Пестречинский	общее	28 454	29 023	29 234	36 662
	сельское	28454	29023	**29234**	**36662**
Высокогорский	общее	46 323	43 207	43604	49 262
	сельское	**46323**	**43207**	**43604**	**49262**
Лаишевский	общее	37 011	36 516	36 741	42 835
	сельское	29281	28781	28936	34231
	городское	7730	7735	7805	8604
Всего	**общее**	**387646**	**377909**	**377741**	**391530**
	сельское	311063	297641	295755	304106
	городское	76583	80268	81986	87424

В Предкамье на 1.01.2019 проживает всего 10% населения республики, что составляет 391530 человек [4, с. 10]. Самым многочисленным районом является Арский район, а самым малочисленным Атнинский район. Отрицательную динамику численности населения с 2002 по 2018 г. показывают пять из одиннадцати районов, а положительную динамику – три района, расположенные в пригороде г. Казани, например в Пестречинском районе увеличение населения более чем на 8000 человек (таблица). Данный факт, видимо, обусловлен быстрым развитием вокруг г. Казани в последние несколько лет одноэтажных коттеджных поселков.

Численность городского населения Предкамья по статистическим данным 2002 г. составляла 76583 человека, а к 2018 г. увеличилась до 87424 человек. Численность сельского населения в 2002 г. была 311063 человека, также в 2018 г. уменьшилась до 304106 человек. Не принимая во внимание районы-пригороды, где положительная динамика численности сельского населения, в остальных сельских районах, можно констатировать заметное уменьшение сельского населения, так максимальное уменьшение сельского населения в Мамадышском (–7822 за семнадцать лет). Основными причинами уменьшения населения в данных районах являются отрицательный естественный прирост, сосредоточение населения в районных центрах и миграция населения из села в крупные города республики. По статистическим данным 2010 г. в Предкамье 77,7% жителей составляют сельское население, которые проживают в 961 сельском населенном пункте. Самое большое количество сельских населенных пунктов в Мамадышском районе 128, самое маленькое количество в Атнинском районе, всего 46 [5, с. 12]. Анализ карты «Население и трудовые ресурсы» показывает, что более плотно заселена северная часть Предкамья. Самая высокая плотность заселения сельского населения (более 25 человек на кв. метр) в Атнинском, Балтасинском районах. В южных районах Предкамья средняя плотность сельского населения от 10 до 15 человек на кв.м. Менее 10 человек на кв.м наблюдается в Лаишевском районе [1, с. 134]. На размещение сельского населения Предкамья значительное влияние оказали исторические и природные условия, наличие удобных транспортных путей, лесов, плодородных почв, источников водоснабжения. Одним из основополагающих факторов динамики населения является естественное движение населения. В 2018 г. в Предкамье родился 4421 ребенок, число умерших составило 4923 человека, следовательно, естественная убыль составила 502 человека. Вместе с тем несколько лет назад, в 2013 г. статистика естественного прироста была еще положительная, на +534 человека, т.е. за пять лет кардинально изменилась ситуация в отрицательную сторону. Максимальная дельта между двумя показателями, в сторону убыли в Рыбно-Слободском районе – 245 чел. в 2018 г. и –160 чел. в 2013 г. Естественный прирост населения имеет незначительный положительный вектор в следующих районах: Балтасинский (+20), Высокогорский (+13), Лаишевский (+9), Пестричинский (+70), Сабинский (+17) [6, с. 1]. Показатели естественного движения чутко реагируют на экономическую ситуацию в стране. Отрицательные показатели говорят о существующих проблемах как в стране в целом, так и, в частности, в муниципалитетах.

Предкамье представлено довольно разнообразным национальным составом. Практически во всех северных районах и центральных районах Предкамья наблюдается преобладание татарского населения (Арском, Атнинском, Сабинском, Тюлячинском, Балтасинском, Сабинском и др. районах). Исторически сюда перешла значительная часть населения Закамского региона после разгрома Булгарского государства монголами в XIII в. Другой причиной его концентрации здесь явилось присоединение края к русскому государству, что вызвало усиленный приток русского населения, которое преимущественно заселяло побережье рек и пригород г. Казани, что подтверждается размещением национального состава населения по состоянию переписи 2002 г. Географические районы плотного проживания русского населения: прибрежные участки Лаишевского, Рыбно-Слободского, Мамадышского районов и пригородные участки Лаишевского, Высокогорского районов [1, с. 140]. Например, в Лаишевском районе русские составляют 55,1% от всех жителей, по переписи 2010 г. Кроме русских и татар в Предкамье проживает значительное количество удмуртов, которые в основном сосредоточены в северо-восточной части Предкамья, в Кукморском районе – 14,0%, в Балтасинском районе – 11,9%.

По территории Предкамья наиболее крупные сельские населенные пункты располагаются в пригородных зонах г. Казани: Высокогорском, Лаишевском, Пестречинском районах. В Предкамье три населенных пункта с численностью более 5,0 тыс., шесть сельских населенных пункта с населением от 2,0 тыс. до 5,0 тыс. человек преимущественно расположены в северной и центральной частях региона. Более малочисленные расположены в южном Предкамье [1, с. 134]. Значительное количество деревень пригородных районов исторически вошли в черту г. Казани и потеряли свою сельскую самобытность (Вознесенское, Большие Клыки, Малые Клыки, Дербышки, Самосырово, Константиновка, Чебакса и др.).

Результаты исследования и их обсуждение

По данным Всероссийских переписей населения 2002 и 2010 гг., в республике идет неуклонный процесс роста количества малонаселенных и обезлюдевших сельских населённых пунктов. С 1920 г. в районах Предкамья исчезло 205 сельских населенных пунктов, самое большее количество исчезнувших деревень и поселков в пригороде г. Казани: Высокогорский район (44), Пестречинский (38), Лаишевский (24), минимально в Кукморском районе (4) [7, с. 303]. Как видно из проведенного анализа, общей тенденцией сельского расселения Предкамья является постепенное сокращение числа сельских поселений. В связи с ростом уровня урбанизации также интенсивно сокращается доля сельского населения путем переселения в крупные города и районные центры. Сельские населенные пункты административных районов, расположенные территориально около крупного города, становятся донором трудовых ресурсов и постепенно утрачивают сельскую идентичность путем поглощения в городскую черту.

Выводы

Основные тенденции и проблемы сельского населения, описанные в статье, в целом подтверждают закономерности демографических процессов последних лет. Однако есть положительные аспекты развития сельского населения и размещения сельских населенных пунктов, связанных в основном с исторически сложившимся удобным географическим положением некоторых районов (наличие железной дороги). Успешное развитие пригородных сельских районов. В данном случае важно сохранить грань сельского и городского населения, без поглощения сельских населенных пунктов. Нынешнее внешнеэкономическое положение страны может послужить хорошим стимулом для развития и увеличения числа сельского населения и в том числе сельских населённых пунктов.

В целом необходимо минимизировать существующую диспропорцию между городским и сельским населением, важно гармоничное развитие всех территорий республики, достижение уровня и качества жизни сельского населения, соответствующего мировым стандартам.

Список литературы / References

1. Атлас Республики Татарстан. Производственное картосоставительное объединение «Картография». М., 2005. 211 с.

Atlas of the Republic of Tatarstan. Production cartographic association «Cartography». M., 2005. 211 p. (in Russian).

2. Семенов-Тян-Шанский В.П. Город и деревня в Европейской России. Очерк по экономической географии с 16 картами. М.: Книга по требованию, 2013. 216 с.

Semenov-Tyan-Shansky V.P. City and village in European Russia. Essay on economic geography with 16 maps. M.: Kniga po trebovaniyu, 2013. 216 p. (in Russian).

3. Мустафин М.Р. География населения и населенных пунктов Татарстана. Казань, 1993. 78 с.

Mustafin M.R. Geography of the population and settlements of Tatarstan. Kazan, 1993. 78 p. (in Russian).

4. Численность населения муниципальных образований Республики Татарстан на начало 2019 года. Статистический бюллетень Федеральной службы государственной статистики. Казань, 2019. 27 с.

The population of the municipalities of the Republic of Tatarstan at the beginning of 2019. Statistical Bulletin Federal State Statistics Service. Kazan, 2019. 27 p. (in Russian).

5. Сводные итоги Всероссийской переписи населения 2010 года: Статистический сборник по итогам Всероссийской переписи населения 2010 года. Татарстанстат. Том 11. Казань: ИЦ Татарстанстата, 2013. 160 с.

Summary of the 2010 All-Russian Population Census: A statistical compilation based on the 2010 All-Russian Population Census. Tatarstanstat. Volume 11. Kazan: ITs Tatarstanstata, 2013. 160 p. (in Russian).

6. Возрастно-половой состав населения городских округов и муниципальных районов Республики Татарстан: Статистический сборник. Татарстанстат. Казань, 2017. 143 с.

Age and gender composition of the population of urban districts and municipal regions of the Republic of Tatarstan: Statistical Digest. Tatarstanstat. Kazan, 2017. 143 p. (in Russian).

7. Исчезнувшие населённые пункты Республики Татарстан: справочник / под ред. Р.В. Шайдуллина. Казань, 2016. 320 с.

The disappeared settlements of the Republic of Tatarstan: reference book / ed. R.V. Shaidullina. Kazan, 2016. 320 p. (in Russian).

УДК 551.501.776:551.576

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ КОНВЕКЦИИ В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В КУЧЕВО-ДОЖДЕВОМ ОБЛАКЕ

[1]Неижмак А.Н., [2]Расторгуев И.П.

[1]ФГКВОУ ВО «Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова», Краснодар, e-mail: kubanec@inbox.ru;
[2]ФГКВОУ ВО Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, e-mail: iprastor@yandex.ru

В статье рассматривается возможность использования адиабатической модели конвекции применительно к задаче нахождения высот расположения изотермических уровней в облачности вертикального развития. Описаны материалы исследования. В качестве исходного материала использовались две независимые выборки высот расположения изотерм 0 °С, –10 °С и –20 °С. Архивные выборки получены для центра европейской части России. Как основной использовался физико-статистический метод исследования. Анализ изменчивости фактических высот расположения изотерм показал нецелесообразность использования осредненных данных. Сравнение с данными стандартной атмосферы привело к таким же выводам. В статье подробно описана математическая модель, используемая в исследовании. Указанная модель адаптирована к наличию различных наборов исходных данных. Приведен ход проводившихся вычислений. Испытание предложенного подхода к оценке высот расположения изотермических уровней в конвективной облачности осуществлено на двух независимых выборках. В качестве эталона рассматривались данные контактного температурного радиозондирования атмосферы. Представленные графики демонстрируют факт занижения расчетных высот изотерм относительно фактических. Данная картина характерна для всех трех рассматриваемых изотермических уровней. Также проиллюстрированы отклонения рассчитанных величин от фактических. Количественная оценка адекватности рассматриваемой модели проведена по показателям, указанным в руководящем документе. Рассчитанные статистические характеристики дают возможность оценить адекватность, точность и устойчивость получаемых результатов. Их анализ позволил сделать вывод о том, что предлагаемый способ работоспособен, но из-за наличия отдельных существенных ошибок рекомендуется в качестве консультативного. Дальнейшее развитие исследования видится в рассмотрении других, более сложных моделей конвекции.

Ключевые слова: изотерма, кучево-дождевое облако, модель конвекции, опасность, температурный градиент, стандартная атмосфера, ошибка

ASSESSING THE ADEQUACY OF MODELS OF CONVECTION IN THE PROBLEM OF DETERMINING THE TEMPERATURE IN A CUMULONIMBUS CLOUD

[1]Neizhmak A.N., [2]Rastorguev I.P.

[1]Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov, Krasnodar, e-mail: kubanec@inbox.ru;
[2]Military Training and Scientific Center of the Air Force «Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovskij and Yu.A. Gagarin», Voronezh, e-mai: iprastor@yandex.ru

The article discusses the possibility of using adiabatic convection model in relation to the problem of finding the heights of isothermal levels in the clouds of vertical development. The research materials are described. Two independent samples of 0 °C, -10 °C and -20 °C isotherms location heights were used as a starting material. Archival samples were obtained for the center of the European part of Russia. As the main physical and statistical method of research was used. Analysis of the variability of the actual heights of the isotherms showed the inexpediency of using averaged data. Comparison with the standard atmosphere data led to the same conclusions. The article describes in detail the mathematical model used in the study. This model is adapted to the availability of different sets of input data. The course of calculations is given. The proposed approach to estimating the heights of isothermal levels in convective clouds was tested on two independent samples. The data of contact temperature radiosonding of the atmosphere were considered as a reference. The presented graphs demonstrate the fact of underestimation of the calculated heights of the isotherms relative to the actual. This pattern is typical for all three considered isothermal levels. Deviations of calculated values from actual values are also illustrated. The quantitative assessment of adequacy of the considered model is carried out on the indicators specified in the governing document. The calculated statistical characteristics make it possible to assess the adequacy, accuracy and stability of the results. Their analysis led to the conclusion that the proposed method is workable, but due to the presence of some significant errors, it is recommended as an Advisory. Further development of the study is seen in the consideration of other, more complex convection models.

Keywords: isotherm, cumulonimbus cloud, convection model, hazard, temperature gradient, standard atmosphere, error

Решение некоторых задач обеспечения безопасности полетов требует знания высот расположения определенных температурных уровней в атмосфере, в том числе внутри облаков, особенно кучево-дождевых [1].

Наиболее точную информацию о распределении температуры по высотам в атмосфере можно получить при помощи вертикального температурно-ветрового зондирования. Поднимающиеся в свобод-

ном полете датчики температуры и влажности с достаточной точностью регистрируют указанные параметры [2].

Однако сеть радиозондировочных пунктов разрежена, запуски радиозондов дорогостоящи и осуществляются в фиксированные моменты времени два раза в сутки, что существенно снижает ценность информации температурного зондирования для оперативной оценки возможности грозообразования и вероятности обледенения в кучево-дождевой облачности.

Для определения высоты расположения изотермы 0 °С разработана методика [3], основанная не на контактном измерении температуры в облачности, а базирующаяся на регистрации с помощью искусственного спутника Земли радиационной температуры верхней границы облачности и на информации о температуре воздуха у поверхности земли. Результаты, полученные при помощи данной методики, сопоставимы с данными температурно-ветрового зондирования, но указанный подход позволяет оценить высоту расположения только уровня 0 °С.

Следовательно, необходим поиск новых путей получения информации о распределении температуры по высотам в кучево-дождевой облачности.

Известны адиабатические и неадиабатические модели конвекции. К числу адиабатических относят модель частицы. Согласно данной модели перегретый относительно окружающего объем воздуха поднимается под действием силы Архимеда по сухоадиабатическому закону. Температура рассматриваемого объема воздуха уменьшается благодаря адиабатическому расширению. После достижения уровня конденсации, где начинается образование облачных элементов, охлаждение происходит медленнее за счет выделяющейся теплоты конденсации. Воздействие силы плавучести и в результате подъем воздуха происходят до момента выравнивания температур поднимающегося и окружающего воздуха. Этот уровень называется уровнем конвекции, и ему соответствует верхняя граница конвективного облака [4].

Модель частицы не является идеальной, она не учитывает некоторых факторов, существующих объективно, поэтому результаты, полученные с ее помощью, отличаются от фактического состояния атмосферы. Данная работа призвана исследовать возможность использования модели частицы для восстановления вертикального профиля температуры в кучево-дождевой облачности.

Материалы и методы исследования

На начальном этапе работы в качестве альтернативного пути получения информации о распределении температуры в атмосфере с высотой рассматривались данные стандартной атмосферы и средние климатические показатели.

По двум независимым выборкам фактического материала, составленным за теплый период с мая по сентябрь для центра европейской части России, был проведен статистический анализ. Для изотермических уровней 0 °С, –10 °С и –20 °С были получены значения их средних высот, а также максимальных отклонений от среднего значения.

Анализ результатов позволил сделать вывод о наименьшей изменчивости высоты расположения определенной температуры в июле, то есть в середине исследуемого периода, и увеличении изменчивости к переходным периодам года. Объясняется данный факт тем, что в середине лета господствующие воздушные массы наиболее однотипны, тогда как весной и осенью воздух может приходить из различных широтных поясов. Кроме того, наименьшим постоянством обладает высота изотермы 0 °С из-за близости данного уровня к земной поверхности и существенного влияния ее прогрева.

Также было оценено сходство рассчитанных средних значений высот расположения изотерм с данными стандартной атмосферы.

Результаты свидетельствуют о максимальном сходстве высот всех изотерм в мае и наименьшем в июле. Указанная картина сложилась вследствие осреднения данных для стандартной атмосферы за весь год, тогда как альтернативные сведения получены только для теплого периода.

В результате можно сделать вывод о том, что фактически наблюдаемые значения высот расположения изотермических уровней имеют значительный разброс относительно полученного среднего. Минимальное несоответствие прослеживается в середине лета. В то же время в середине теплого периода наблюдается наименьшая согласованность данных стандартной атмосферы и расчетных средних высот.

Таким образом, информация стандартной атмосферы существенно отличается от фактического хода температуры воздуха, особенно для июля, что исключает возможность ее использования для решения задачи мониторинга кучево-дождевой облачности.

В данной работе предлагается использовать адиабатическую модель развития

конвективного облака для оценки высоты расположения различных температурных уровней.

Алгоритм, описывающий модель конвекции, можно представить следующим образом [5].

Исходными данными являются атмосферное давление P_0, температура воздуха T_0, измеренные у земной поверхности, и высота нижней границы облаков $H_{нго}$, зарегистрированная также с поверхности земли.

Для работы модели необходима информация о температуре на уровне высоты нижней границы облачности, то есть на уровне конденсации ($H_{нго} = H_{ук}$). Определяется температура на данном уровне при помощи выражения

$$T_{ук} = T_0 - 0{,}98\frac{H_{ук}}{100}, \qquad (1)$$

где 0,98 – величина, на которую температура изменяется в воздухе при его подъеме на высоту 100 м до момента начала конденсации водяного пара (сухоадиабатический вертикальный температурный градиент).

Атмосферное давление, входящее в параметры модели, находится на уровне конденсации при помощи барометрической формулы вида

$$P_{ук} = P_0 \exp\left(-\frac{gH_{ук}}{R_c\left(\frac{(T_0 - T_{ук})}{2}\right)}\right), \qquad (2)$$

где g – ускорение свободного падения, R_c – удельная газовая постоянная сухого воздуха.

При помощи выражений (1) и (2) определены переменные величины, необходимые для дальнейшей реализации модели.

Вследствие того, что подъем воздуха выше уровня конденсации осуществляется с выделением скрытого тепла конденсации, температура его изменяется по влажноадиабатическому закону, не являющемуся линейным. Однако при незначительных изменениях высоты подъема облачного воздуха изменение его температуры можно описать при помощи влажноадиабатического градиента, считая его постоянным.

Следуя приведенному допущению, определим необходимые величины на уровне, находящемся выше уровня конденсации на 10 гПа. Высота может быть получена при помощи формулы Бабине:

$$H = H_{ук} + 16000\frac{P_{ук} - (P_{ук} - 10)}{P_{ук} + (P_{ук} - 10)}(1 + 0{,}004T_{ук}). \qquad (3)$$

Температура рассчитывается при помощи формулы

$$T = T_{ук} - \frac{\gamma}{100}(H - H_{ук}), \qquad (4)$$

где γ – величина влажноадиабатического градиента, определяемого выражением

$$\gamma = \frac{P_{ук} + 5420{,}93\frac{E}{T_{ук} + 273{,}15}}{P_{ук} + 8397212{,}04\frac{E}{(T_{ук} + 273{,}15)^2}}, \qquad (5)$$

где E представляет собой упругость водяного пара, находящегося в состоянии насыщения, на предыдущем уровне, то есть уровне конденсации. Находится при помощи выражения

$$E = 6{,}1078\exp\left(\frac{17{,}13T_{ук}}{235 + T_{ук}}\right). \qquad (6)$$

Зная температуру воздуха и высоту уровня в облаке, на котором давление ниже, чем на уровне конденсации на 10 гПа, можно при помощи выражений (3–6) аналогично рассчитать искомые величины (температуру воздуха и высоту его расположения) для всех вышележащих слоев облака до его верхней границы.

Отсутствие данных о высоте нижней границы облачности $H_{нго} = H_{ук}$ можно компенсировать информацией о температуре точки росы Td_0, измеренной у поверхности земли. Зная P_0, T_0 и Td_0, можно определить значения T и Td на уровне высоты нижней границы облачности с помощью выражений

$$T = T_0 - k_t(P_0 - P_{ук}), \qquad (7)$$

$$Td = Td_0 - k_q(P_0 - P_{ук}), \qquad (8)$$

где k_t и k_q – значения средних угловых коэффициентов для сухих адиабат и изограмм.

Из выражений (7) и (8), учитывая то, что облачность начинает образовываться на высоте, где T становится равной Td, получаем выражение для нахождения давления на уровне конденсации

$$P_{ук} = P_0 + \frac{Td_0 - T_0}{k_t - k_q}. \qquad (9)$$

Используя значение $P_{ук}$, при помощи формулы Бабине определяем высоту нижней границы облачности:

$$H_{ук} = H_{нго} = 16000\frac{P_0 - P_{ук}}{P_0 + P_{ук}}(1 + 0{,}004T_{ук}). \qquad (10)$$

Далее, применяя полученные данные, с использованием приведенного ранее алгоритма определяется высота любого изотермического уровня в конвективном облаке.

Результаты исследования и их обсуждение

Следующим этапом в работе было испытание предлагаемого способа оценки высоты расположения любого изотермического уровня в конвективной облачности. По двум независимым выборкам исходных данных объемом 100 и 33 случая, состоящим из значений P_0, T_0 и $H_{нго}$, по приведенному выше алгоритму были рассчитаны высоты изотермических уровней 0 °С, –10 °С и –20 °С. Контрольным материалом для сравнения служили фактические данные радиозондирования атмосферы.

Ряды полученных значений высот изотерм длиной 100 случаев обозначим выборкой 1, а длиной 33 случая – выборкой 2. На рис. 1 и 2 графически представлены результаты сравнения фактических и рассчитанных при помощи модели значений высоты изотермы с номиналом 0 °С.

На графиках видно, что расчетные значения высоты изотермы меньше, чем фактические. Результаты, полученные для значений высот изотермических уровней –10 °С и –20 °С, аналогичны картине, представленной на рис. 1 и 2. Для количественной оценки данной разницы были рассчитаны величины отклонения расчетных значений высот изотерм от фактических. На рис. 3 и 4 представлены результаты для изотермического уровня –10 °С.

Из рис. 3 и 4 видно, что результаты эксперимента практически по всему объему выборок 1 и 2 меньше фактических, причем иногда существенно.

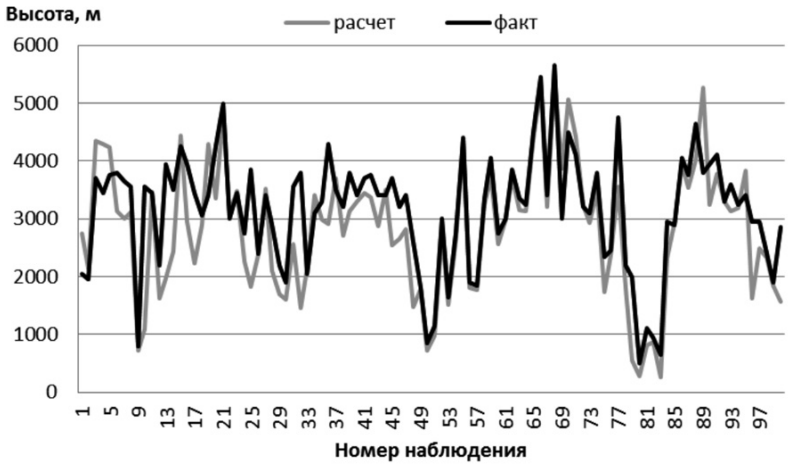


Рис. 1. Графики фактических и рассчитанных значений высоты нулевой изотермы по выборке 1

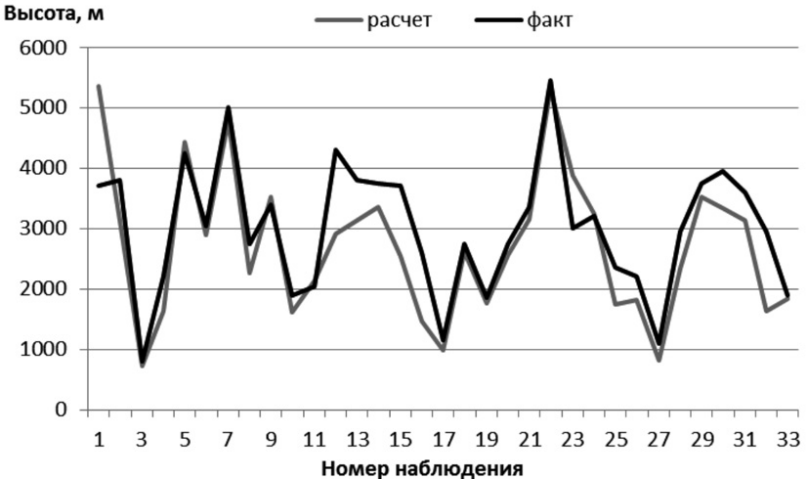


Рис. 2. Графики фактических и рассчитанных значений высоты нулевой изотермы по выборке 2

Статистические оценки качества предлагаемого способа

	δ, м		σ, м		$\hat{\delta}$, м		r	
	Выборка 1	Выборка 2	Выборка 1	Выборка 2	Выборка 1	Выборка 2	Выборка 1	Выборка 2
0 °C	494	157	713	366	–321	–97	0,81	0,84
–10 °C	620	223	879	522	–508	–178	0,79	0,78
–20 °C	774	261	1075	600	–670	–229	0,74	0,77

Для количественной оценки качества восстановления высот изотерм в конвективной облачности, то есть для оценки адекватности предлагаемого способа, были рассчитаны следующие статистические характеристики, рекомендуемые в [6]: средняя абсолютная ошибка δ, средняя квадратическая ошибка σ, средняя арифметическая (систематическая) ошибка $\hat{\delta}$ и коэффициент корреляции между рассчитанными и фактическими значениями высот одной и той же изотермы *r*. Значения статистических характеристик представлены в таблице.

Как видно из таблицы, все рассчитанные для выборки 2 параметры лучше, чем для выборки 1, а также они ухудшаются от изотермы 0 °C к изотерме –20 °C. Первая закономерность связана, по всей видимости, с тем, что при увеличении объема выборки материала для испытаний увеличивается количество случаев с ошибками, приводящими к росту погрешностей. Вторая закономерность – с ухудшением качества определения высоты изотерм на больших высотах в конвективном облаке, что обусловлено несовершенством используемой модели.

Заключение

Таким образом, в данной работе предложен способ оценки высоты нахождения изотермических уровней в мощной конвективной облачности, основанный на использовании модели конвекции. Эксперимент, проведенный по итогам работы над способом, позволил рассчитать некоторые показатели успешности, которые дают возможность оценить адекватность, точность и устойчивость результатов предлагаемого подхода. Полученные результаты свидетельствуют о работоспособности данного способа, призванного без проведения контактных измерений оценить распределение температуры с высотой в мощной конвективной облачности. Однако из-за отдельных значительных ошибок и роста погрешности при увеличении высоты расположения исследуемого уровня в облаке следует рассматривать предлагаемый способ в качестве консультативного и искать пути его совершенствования. Одно из направлений дальнейшей работы видится в применении других, более сложных моделей развития конвективного облака и разработке программных продуктов по реализации моделей конвекции [7].

Список литературы / References

1. Солынина В.Е. Краткий курс авиационной метеорологии: учебное пособие. М.: Авиабизнес, 2010. 124 с.

Solynina V.E. A short course in aviation meteorology: a training manual. M.: Aviabiznes, 2010. 124 p. (in Russian).

2. Червяков М.Ю. Зондирование атмосферы: учебно-методическое пособие для студентов, обучающихся по направлению 05.03.05 Прикладная гидрометеорология. Саратов: ИЦ «Наука», 2019. 62 с.

Chervyakov M.Yu. Atmospheric sounding: educational and methodical manual for students studying in the direction of 05.03.05 Applied hydrometeorology. Saratov: ICz «Nauka», 2019. 62 p. (in Russian).

3. Бухаров М.В., Алексеева А.А., Глушкова Н.И. Способ определения высоты нулевой изотермы в облаках // Патент РФ № 2193787. Патентообладатель Бухаров М.В. 2002. Бюл. № 33.

Buharov M.V., Alekseeva A.A., Glushkova N.I. Method for determining the height of the zero isotherm in clouds // Patent RU № 2193787. Patentee Buharov M.V. 2002. Bull. № 33 (in Russian).

4. Губенко И.М. Исследование физических процессов в конвективных облаках во время гроз на основе численного моделирования: дис. … канд. физ.-мат. наук. Москва, 2016. 130 с.

Gubenko I.M. Investigation of physical processes in convective clouds during thunderstorms on the basis of numerical simulation: dis. … kand. fiz.-mat. nauk. Moskva, 2016. 130 p. (in Russian).

5. Неижмак А.Н., Расторгуев И.П. Методика оценки высоты развития кучево-дождевой облачности // Гелиогеофизические исследования. 2014. № 9. С. 125–129.

Neizhmak A.N. Rastorguev I.P. Method of evaluation the height of the development of cumulonimbus clouds // Geliogeofizicheskie issledovaniya. 2014. № 9. P. 125–129 (in Russian).

6. РД 52.27.284–91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. СПб.: Гидрометеоиздат, 1991. 150 с.

7. Петросян Я.В., Расторгуев И.П., Неижмак А.Н. Программа расчета высоты верхней границы конвективной облачности. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010610011. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 11.01.2010.

Petrosyan Ya.V., Rastorguev I.P., Neizhmak A.N. Program for calculating the height of the upper boundary of convective clouds. Certificate of state registration of computer programs. № 2010610011. Registered in the Register of computer programs 11.01.2010 (in Russian).

УДК 502:338.484 (571.56)

ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ ЯКУТИИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА

Николаев А.А.

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Якутск, e-mail: cd051@mail.ru

Статья рассматривает современное состояние особо охраняемых природных территорий в Якутии, в одном из самых огромных регионов России. Экологический туризм является одной из самых интересных и перспективных в последние годы отраслей в развитии туризма в охраняемых природных территориях Якутии. Природные комплексы охраняемых природных территорий Якутии интересны и могут быть предложены для развития экологического туризма из близлежащих стран – Китая, Кореи, Японии и других стран Азиатско-тихоокеанского региона. Для развития экологического туризма в охраняемых природных территориях мы по их расположению разделили на 4 природных комплекса; это – Центрально-Якутская равнина, Северо-Восточный горно-складчатый природный комплекс, тундровый и северо-таежный природные комплексы, горнотаежный природный комплекс Южной Якутии. Даны основные природные и достопримечательные места особо охраняемых природных территорий, транспортная доступность данных участков. Экологический туризм в Якутии вполне может быть развит на мировом уровне, имея такие характеристики: разнообразие ландшафта, от арктических тундр до горнотаежных природных комплексов; неисследованные участки природы, возможность открытия новых природных объектов самими туристами; северное гостеприимство и богатая и своеобразная культура народа саха и представителей малочисленных народов Севера; отсутствие различных болезнетворных и паразитарных насекомых и иных представителей животного мира, что является абсолютно безопасным и привлекательными для летнего туризма в тайге; богатая дикая фауна и флора во всех проявлениях; чистота нетронутых девственных лесов и водоемов; большой выбор для любого вида активного туризма, например пользующиеся с успехом горные речки для рафтинга, альпинизм, конный туризм и др.

Ключевые слова: Республика Саха (Якутия), особо охраняемые природные территории,, экологический туризм, природные комплексы Якутии

SPECIALLY PROTECTED NATURAL TERRITORIES OF YAKUTIA FOR ORGANIZATION ECOLOGICAL TOURISM

Nikolaev A.A.

The North-Eastern Federal University M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: cd051@mail.ru

The article considers the current state of specially protected natural territories in Yakutia, in one of the most vast regions of Russia. Ecotourism is one of the most interesting and promising in recent years in the development of tourism in the protected natural territories of Yakutia. The natural complexes of the protected natural territories of Yakutia are interesting and can be offered for the development of ecological tourism from the neighboring countries of China, Korea, Japan and other countries of the Asia-Pacific region. For the development of eco-tourism in protected natural areas, we divided them into 4 natural complexes according to their location; it is the Central Yakut plain, the North-East mountain-folded natural complex, the tundra and north-taiga natural complexes, the mountain taiga natural complex of South Yakutia. Given the main natural and attractions of specially protected natural areas, the possibility of transport accessibility to these sites. Ecotourism in Yakutia may well be developed at the world level with the following characteristics: landscape diversity, from arctic tundra to mountain taiga natural complexes; not explored areas of nature, the possibility of discovering new natural objects by tourists themselves; Northern hospitality and rich and peculiar culture of the Sakha people and representatives of the small peoples of the North; the absence of various pathogenic and parasitic insects and other representatives of the animal world, which is absolutely safe and attractive for summer tourism in the taiga; rich wild fauna and flora in all its manifestations; the cleanliness of unspoiled virgin forests and ponds; a wide choice for any type of active tourism, such as mountain rivers for rafting, climbing, climbing, horseback riding, etc.

Keywords: Republic of Sakha (Yakutia), specially protected natural territories, ecological tourism, natural complexes of Yakutia

В настоящее время особо охраняемые природные территории (ООПТ) Якутии занимают более 29% ее территории, что является особенно актуальным в деле сохранения природных комплексов и биологического разнообразия не только территории республики, но и всего Северо-Востока России.

Особо охраняемые природные территории республики организованы и уже действуют во всех административно-территориальных, муниципальных образованиях – улусах и районах Республики Саха (Якутия), охватывая почти все ее ландшафтные особенности, начиная с арктических пустынь до горнотаежных природных систем Южной Якутии.

Организация ООПТ в Республике Саха сопровождалась Указом первого Президента РС(Я) в основном в нетронутых, почти в труднодоступных в географическом,

транспортном отношениях участках природы административно-территориальных образованиях, богатых фауной и флорой. Так, в период с 1995 по 2000 г. в РС(Я) были организованы более 100 единиц ООПТ, которые подчиняются и руководствуются Министерством охраны природы РС(Я), из них только два заповедника – Олекминский и Усть-Ленский – подчиняются федеральному руководству.

Резервирование и отчуждение земель под ООПТ в РС(Я) в 1990-е гг. явилось в настоящее время гарантом сохранения уникальных участков природы от частного владения, так как в настоящее время с введением нового Закона РФ «Об охоте…» и ряда Постановлений РФ почти все охотничьи и рыболовные участки даются в частные владения на 25 лет, что может нанести непоправимый ущерб природной среде из-за ненадлежащей бесконтрольной эксплуатации природного биоразнообразия угодий [1].

Цель исследования: изучение и выявление перспективных особо охраняемых природных территорий в природных комплексах Якутии для развития экологического туризма на их уникальных, живописных и неповторимых участках, одного из перспективных направлений туризма в ООПТ современного мира.

Материалы и методы исследования

При проведении исследования использовались такие методы, как географический, картографический, камерально-описательный, полевые и архивные материалы исследователя за многие годы работы на участках ООПТ РС(Я). При описании возможности организации экологического туризма в данных ООПТ опирались на методические разработки, работы и требования стандарта для экологического туризма – законом Республики Саха (Якутия) «Об особо охраняемых природных территориях» [2], ГОСТа, экологический туризм [3], Ворониной [4], Евстропьевой и Корытного [5], Завадской [6], Святохи [7], Алексеева [8].

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время в Республике Саха (Якутия) действуют 2 заповедника федерального значения – Усть-Ленский и Олекминский, 1 национальный парк – Ленские Столбы, 5 природных парков – Синяя, Усть-Вилюйский, Момский, Колыма, «Живые алмазы Якутии», 77 ресурсных резерватов, 1 охраняемый ландшафт, 26 уникальных озер и 16 памятников природы республиканского значения, 40 ресурсных резерватов, 23 резервных территорий под памятники природы, 1 охраняемый ландшафт, 1 ландшафтно-этнографичекий парк, 17 зон покоя и 3 детских экологических парка местного значения на 915 556 тыс.кв.км.

ООПТ РС(Я) регулируются и руководствуются Законом РС(Я) 105-3 № 213-III от 25 декабря 2003 г. «Об особо охраняемых природных территорий Республики Саха (Якутия)» и издаваемые на его основе нормативными правовыми актами. Они образуют республиканскую систему ООПТ и находятся в ведении Правительства РС(Я), кроме Олекминского и Усть-Ленского заповедников и Ботанического сада. Национальный парк «Ленские Столбы» по Договору руководствуются РФ и РС(Я). На рисунке представлена современная система особо охраняемых природных территорий Республики Саха (Якутия) [9].

В последние годы в мире особенной популярностью пользуется экологический туризм, который предусматривает щадящее использование туристских и природных объектов, не требующая специальной и дорогостоящей инфраструктуры для туристов. Для данного вида туризма подходят «принимающие семьи туристов» якутских сел и поселков, которые могут работать в договоре с туристскими фирмами, а также могут выполнять вкупе и работу гидов-проводников для туристов и их групп, что немаловажно для развития туризма в отдаленных районах республики.

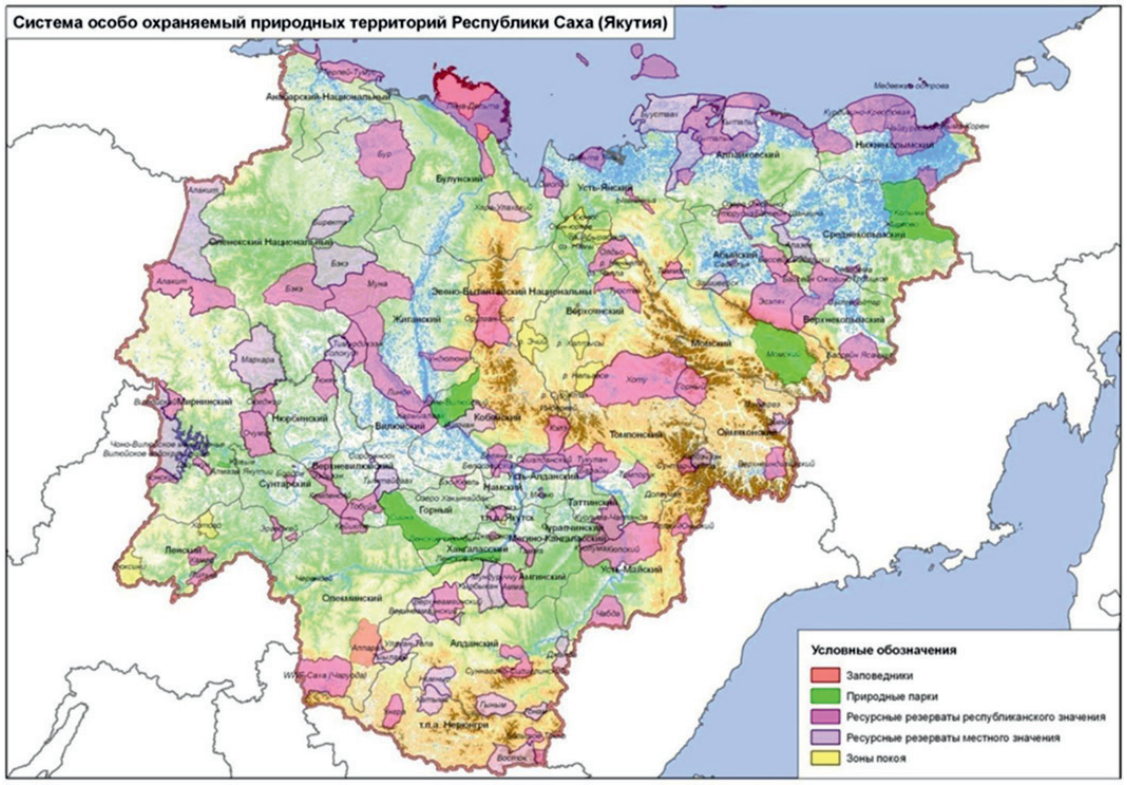
Благодаря уникальным ландшафтам и природе участков ООПТ экологический туризм в Якутии вполне может быть развит и на мировом уровне, так как есть некоторые преимущества от некоторых регионов России, такие как:

– разнообразие ландшафта, от арктических тундр до горнотаежных природных комплексов;

– неисследованные и малоизученные до сих пор участки республики, что повышает возможность открытия новых и уникальных природных объектов самими туристами;

– традиционное северное гостеприимство и богатая, своеобразная культура народа саха и представителей малочисленных народов Севера;

– отсутствие различных болезнетворных и паразитарных насекомых и иных представителей животного мира, что является абсолютно безопасным и привлекательным для летнего туризма в тайге;



Особо охраняемые природные территории Республики Саха (Якутия) [9]

– богатая дикая фауна и флора во всех проявлениях;

– чистота нетронутых девственных лесов и водоемов;

– большой выбор для любого вида активного туризма, как например, горный рафтинг, альпинизм, конный туризм и др.

К сожалению, все охотничьи угодья, т.е. лесные участки Республики Саха (Якутия) с 2010 г. долгосрочно переданы в частные владения, поэтому осуществление экологического туризма в Якутии возможно только в участках ООПТ. Поэтому, для развития экологического туризма в республике мы выбрали несколько участков охраняемых природных территорий из всей сети ООПТ РС(Я) по их природным комплексам Якутии, наиболее привлекательные для туристов, учитывая не только уникальные природные объекты, но и транспортную и географическую доступность, т.е. удобную транспортную и логистическую инфраструктуру со всех позиций, что является очень важным моментом для туристической деятельности [10].

Для развития экологического туризма в природных комплексах ООПТ особенно актуальным может стать туристское взаимосотрудничество со странами азиатско-тихоокеанского рынка, такими как Китай, Корея, Япония, и другими странами, в связи с их близостью и более их легкой доступностью на территорию Якутии. Более массовый экологический туризм в Якутии может быть развит в большей степени в летнее время, но и среди энтузиастов и интересующихся якутскими морозами, которые в последние годы становятся наиболее популярными, возможно и организация и зимних экологических туров в ООПТ.

На наш взгляд, учитывая все эти позиции, наиболее перспективными для развития экологического туризма из всех ООПТ Якутии могут быть следующие (табл. 1–4).

Из находящихся в Центрально-Якутской равнине ООПТ мы выбрали наиболее подходящие перспективные для экологического туризма ресурсные резерваты – Кемпендяй, Белоозерский, Амма, Барайы, Приалданский, природный парк Сиинэ (Синяя) и национальный парк «Ленские Столбы» (табл. 1). Все эти ООПТ расположены в удобной транспортной доступности от главного туристского центра – г. Якутска, и транспортная доставка туристов в эти ООПТ может вестись даже круглый год. Представленные ООПТ обладают красивыми неповторимыми уникальными объектами и нетронутой природой. Можно разработать несколько маршрутов экологического туризма в этих ООПТ.

Таблица 1

Особо охраняемые природные территории природных комплексов Центрально-Якутской равнины

№	ООПТ	Уникальность ООПТ	Площадь в кв. км	Близлежащие населенные пункты, км от ООПТ (базы)	Доставка до ООПТ
1	Национальный парк «Ленские Столбы»	Знаменитые Ленские Столбы, рунические писаницы, стоянка древнего человека Диринг-Юрях, река Лена	13530	г. Покровск, 50 км	теплоход, моторная лодка, скоростные катера, зимой автомобили
2	Природный парк «Сиинэ»	Синские столбы, речка Синяя, рунические писаницы, красивая нетронутая природа, сплав по реке.	14675	с. Бердигестях, 40 км	Автомобиль
3	Ресурсный резерват «Приалданский»	р.Алдан, Мамонтова гора, красивая природа, рыбалка, горные речки для сплава	4764	с .Чериктяй, 30 км	автомобиль, моторная лодка, скоростные катера
4	Ресурсный резерват «Барайы»	р.Алдан, Мамонтова гора, рыбалка, горные речки для сплава, место, где обнаружены уникальные палеобактерии в костях ископаемых животных, которые продлевают жизнь	1228	с. Уус-Таатта, 20 км	автомобиль, моторная лодка, скоростные катера
5	Ресурсный резерват «Амма»	Красивая природа чистой Амги, Амгинские столбы, прекрасное место для сплава, много ягод, земляники	7354	с. Амга, 50 км	автомобиль, сплав
6	Ресурсный резерват «Белозерский»	Красивая природа, уникальное оз. Белое, близость от города	636	с. Намцы, 50 км	Автомобиль
7	Ресурсный резерват «Кемпендяй»	Красивая природа, уникальные лечебные грязи, которые поднимают парализованного человека, соленые озера, санаторий-профилакторий	5211	с. Кемпендяй, 10 км	Автомобиль

Таблица 2

Особо охраняемые природные территории Северо-Восточного горно-складчатого природного комплекса

№	ООПТ	Уникальность ООПТ	Площадь в кв. км	Близлежащие населенные пункты, км от ООПТ (базы)	Доставка до ООПТ
1	Момский природный парк	Самая высокая точка Северо-Востока Азии – 3147 м. г. Победа, потухший вулкан Балаган-Тас, самобытная культура эвенов, горнотундровое оленеводство, сплав по реке Тиректях, потухший вулкан Балаган-Тас	21756	с. Сасыр, 50 км	самолет, грузовой автомобиль, сплав
2	Усть-Вилюйский природный парк	Уникальная красивая природа, отличная рыбалка, много тайменя, обилие диких животных	10160	п. Сангар, 80 км	теплоход, моторная лодка, сплав
3	Ресурсный резерват «Сунтар-Хаята»	2959 м. – г. Мус-Хая, современные ледники, редкая бабочка (эндемик) – парусник Аммосова, горные бараны – чубуку	631	п. Кобюме, 60 км	автомобиль, гужевой или вездеходный транспорт
4	Ресурсный резерват «Верхнеиндигирский»	Уникальное загадочное горное озеро Лабынкыр, красивая природа, обилие диких животных	6968	п. Томтор, 80 км	автомобиль, гужевой или вездеходный транспорт

В Северо-Восточном горно-складчатом природном комплексе, по нашему мнению, наиболее перспективными и привлекательными для развития экологического туризма можно назвать следующие – природные парки Момский и Усть-Вилюйский, ресурсные резерваты Сунтар-Хаята и Верхнеиндигирский (табл. 2). Эти ООПТ представляют собой горно-долинные, горно-складчатые ландшафты и имеют поистине красивые горные пейзажи для любителей горного туризма, альпинизма, рафтинга, конного туризма и т.д. Географическое расположение данных ООПТ довольно труднодоступное, но, например, в ресурсные резерваты Верхнеиндигирский и Сунтар-Хаята можно добраться на автомобиле, притом круглогодично.

В тундровых и северо-таежных природных комплексах мы выбрали следующие ООПТ – природный парк Колыма и ресурсные резерваты Муна, Лена-Дельта, Кыталык, Чайгургино (табл. 3). Представленные ООПТ расположены также от г. Якутска довольно далеко, транспортная доступность тоже относительно слабая, но эти ресурсные резерваты расположены довольно близко к районным центрам, имеющих круглогодичную воздушную связь с г. Якутском. Для любителей и искателей палеонтологических ценностей здесь можно организовать и палеонтологические туры.

Таблица 3

Особо охраняемые природные территории
тундровых и северо-таежных природных комплексов

№	ООПТ	Уникальность ООПТ	Площадь, в кв.км	Близлежащие населенные пункты, км. от ООПТ (базы)	Доставка до ООПТ
1	Природный парк «Колыма»	Уникальная природа лесотундры, палеонтологические ископаемые, обилие диких животных, орнитофауна	21880	г. Среднеколымск, 50 км	самолет, моторная лодка скоростные катера
2	Ресурсный резерват «Чайгургино»	Типичная тундра, обилие орнитофауны, культура юкагиров, палеонтологические ископаемые	23756	п. Черский, 50 км	самолет, моторная лодка, скоростные катера
3	Ресурсный резерват «Кыталык»	Стерх – белый журавль – место гнездования редкой птицы, обилие орнитофауны и диких животных, типичная тундра, палеонтологические объекты	10379	п. Чокурдах, 60 км	самолет, вездеход
4	Ресурсный резерват «Лена-Дельта»	Крупнейшая в мире дельта р. Лены, типичная тундра, палеонтологические объекты, богатая орнитофауна	59320	п. Быковский, 10 км	самолет, скоростные катера
5	Ресурсный резерват «Муна»	Богатая фауна, нетронутая природа	22353	с. Кыстатыам, 30 км	теплоход, скоростные катера

Таблица 4

Особо охраняемые природные территории
горнотаежных природных комплексов Южной Якутии

№	ООПТ	Уникальность ООПТ	Площадь, в кв.км	Близлежащие населенные пункты, км. от ООПТ (базы)	Доставка до ООПТ
1	Ресурсный резерват «Унгра»	Красивая природа горной тайги Южной Якутии, богатая флора и фауна, р. Унгра, сплав	2800	г. Нерюнгри, 30 км	Автомобиль
2	Ресурсный резерват «Большое Токко»	Уникальное горное озеро Большое Токко – глубина около 200 м, красивая природа, богатая флора и фауна	2658	г. Нерюнгри, 300 км	вертолет, туда подходит Эльгинская трасса, автомобиль

В горнотаежном природном комплексе Южной Якутии для экологического туризма могут быть интересны ресурсные резерваты Унгра и Большое Токко (табл. 4). Ресурсный резерват «Большое Токко» расположен в живописном берегу оз. Большое Токко в одном из красивейших мест Южной Якутии. Озеро Большое Токко – это очень большое пресноводное озеро, расположенное во впадине хребтов Южной Якутии, на границе с Хабаровским краем.

Заключение

Таким образом, экологический туризм в Якутии можно развить в любых участках ООПТ, но предпочтение должно быть отдано вышеперечисленным ресурсным резерватам и природным паркам, в плане транспортной доставки от райцентров и в плане своей уникальности и привлекательности природных объектов. Ведь привлекательность природных объектов для туристов играет огромную роль в посещении этих мест. В последние годы посещение нетронутых мест вызывает больше интереса среди туристов всего мира, «уставших» любоваться одними и теми же туристскими объектами, как например – Ниагарским водопадом, Скалистыми горами и тому подобное. Современный турист хочет увидеть не увиденное еще в средствах массовой информации, особенно, неизведанные в этом плане туристические и природные объекты. И мы должны постараться, чтобы эти туристы попали в такие туристические объекты, как особо охраняемые природные территории Якутии, включая участки ООПТ в различные программы туристических объектов Якутии. Уникальная природа особо охраняемых природных территорий Республики Саха (Якутия) вполне отвечает вышеперечисленным задачам, и в настоящее время географическая и транспортная доступность в этих объектах делает их вполне осуществляемыми для туристов.

Список литературы / References

1. Федеральный закон «Об охоте и о сохранении охотничьих ресурсов и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 24.07.2009 № 209-ФЗ. [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_89923/ (дата обращения: 18.08.2019).

The Federal law «On hunting and on preservation of hunting resources and on modification of separate legal acts of the Russian Federation» of 24.07.2009 N 209-FZ. [Electronic resource]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_89923/ (date of access: 18.08.2019) (in Russian).

2. Закон Республики Саха (Якутии) от 25.12.2003 № 105-З № 213-III «Об особо охраняемых природных территориях Республики Саха (Якутия)». [Электронный ресурс]. URL: http://oopt.aari.ru/docfilter/Закон-Республики-Сахи-Якутии-от-25122003-№105-3-N-213-III (дата обращения: 18.08.2019).

The law of the Republic of Sakha (Yakutia) Republic from 25.12.2003 № 105-W, No. 213-III «On Specially Protected Natural Territories of the Republic of Sakha (Yakutia)» [Electronic resource]. URL: http://oopt.aari.ru/docfilter/Закон-Республики-Сахи-Якутии-от-25122003-№105-Z-N-213-III (date of access: 18.08.2019) (in Russian).

3. ГОСТ Р 56642–2015. Туристские услуги. Экологический туризм. Общие требования: нац. стандарт Рос. Федерации: дата введения 2016–07–01. Москва: Стандартинформ, 2016. 9 с.

4. Воронина Ю.Н. Оценка современного состояния туристской деятельности на особо охраняемых природных и историко-культурных территориях и ее региональные аспекты // Вопросы культурологии. 2016. № 3. С. 8–12.

Voronina Yu.N. Assessment of the current state of tourist activity in specially protected natural, historical and cultural areas and its regional aspects // Questions of cultural studies. 2016. № 3. P. 8–12 (in Russian).

5. Евстропьева О.В., Корытный Л.М. Как развивать трансграничный экологический туризм в бассейне озера Байкал // ЭКО. 2014. № 12. С. 76–85.

Evstopieva O.V., Korytny L.M. How to develop transboundary eco-tourism in the basin of lake Baikal // EKO. 2014. № 12. P. 76-85 (in Russian).

6. Завадская А.В., Яблоков В.М. Экологический туризм на особо охраняемых природных территориях Камчатского края: проблемы и перспективы. М.: РАСАНД, 2013. 218 с.

Zavadskaya A.V., Yablokov V.M. Ecological tourism in specially protected natural areas of the Kamchatka territory: problems and prospects. M.: RASAND, 2013. 218 p. (in Russian).

7. Святоха Н.Ю., Филимонова И.Ю. Развитие экологического туризма на особо охраняемых природных территориях Оренбургской области // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 10. С. 420–423.

Svyatokha N.Yu., Filimonova I.Yu. Development of ecological tourism in specially protected natural areas of the Orenburg region // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2015. № 10. P. 420–423 (in Russian).

8. Алексеева Е.В., Древаль Е.В., Юдин А.Г., Карцева Е.В. Экологический туризм: проблемы и перспективы // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2015. № 8. С. 99–112.

Alekseeva E.V., Dreval E.V., Yudin A.G., Kartseva E.V. Ecotourism: problems and prospects // Problemy okruzhayushchey sredy i prirodnykh resursov. 2015. № 8. P. 99–112 (in Russian).

9. Схема-карта особо охраняемых природных территорий Республики Саха (Якутия) [Электронный ресурс]. Сайт Министерства экологии, природопользовании и лесного хозяйства. URL https://minpriroda.sakha.gov.ru (дата обращения: 14.08.2019).

Scheme-map of specially protected natural areas of the Republic of Sakha (Yakutia) [Electronic resource]. The website of the Ministry of ecology, environmental management and forestry. URL https://minpriroda.sakha.gov.ru (date of access: 14.08.2019) (in Russian).

10. Реестр особо охраняемых природных территорий Республики Саха (Якутия): Sakhalife. [Электронный ресурс]. URL: http://sakhalife.ru/reestr-osobo-ohranyaemyih-prirodnyih-territoriy-respubliki-saha-yakutiya/ (дата обращения: 25.07.2019).

Register of specially protected natural areas of the Republic of Sakha (Yakutia). [Electronic resource]. URL: http://sakhalife.ru/reestr-osobo-ohranyaemyih-prirodnyih-territoriy-respubliki-saha-yakutiya/ (date of access: 25.07.2019) (in Russian).

УДК 504.056:614.841(235.222)

ДАТИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ В ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ИМИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ В ВЕРХОВЬЯХ РЕКИ АКТРУ (СЕВЕРО-ЧУЙСКИЙ ХРЕБЕТ, ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

Николаева С.А., Савчук Д.А.

ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем» СО РАН, Томск, e-mail: sanikol1@rambler.ru, savchuk@imces.ru

Одним из факторов нарушения лесных экосистем являются пожары. Леса Горного Алтая в плане их датирования изучены совершенно недостаточно. Цель работы – датирование пожаров в трансформированных ими лесных экосистемах в верховьях р. Актру (Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай). Настоящее исследование было основано на совокупности дендроиндикационных методов, где признаками служили: наличие пирогенных травм годичных колец и каллюсной ткани, засмоленных колец, резкое изменение прироста ствола деревьев по сравнению с контролем и возрастная структура древесного яруса, восстановленная по возрасту деревьев кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.). Дополнительно учитывались наблюдения очевидцев за пожарами и использовались результаты анализа слоев двух почвенных разрезов в одном из лесных сообществ. В трансформированных пожарами лесных экосистемах левого склона долины в верховьях р. Актру, в пределах горно-ледникового бассейна, установлено точное время локальных пожаров (1970, 1974 и 2008 гг.) в дополнение к зафиксированным очевидцами (2004, 2011, 2014 гг.). Также определены три наиболее вероятных периода появления пожаров в прошлом (конец XIX в., середина и вторая половина XVIII в., период ранее XVII в.). Пожары 1974 г. и конца XIX в., по-видимому, были распространены на большей части левого склона долины. Причинами локальных пожаров последних десятилетий (2004, 2008, 2011 и 2014 гг.), скорее всего, было неосторожное обращение с огнем на фоне относительно засушливой погоды. Массовые пожары 1974 г. и конца XIX в. вызваны в первую очередь погодно-климатическими условиями вегетационных сезонов соответствующих лет.

Ключевые слова: пожар, экосистема, дендроиндикация, годичные кольца, кедр, лиственница, Алтай

DATING OF FIRES IN TRANSFORMED FOREST ECOSYSTEMS IN THE AKTRU HEADWATER (THE SEVERO-CHUISKY RANGE, THE ALTAI MOUNTAINS)

Nikolaeva S.A., Savchuk D.A.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, e-mail: sanikol1@rambler.ru, savchuk@imces.ru

One of the factors affecting forest ecosystems is fires. The forests of the Altai Mountains in terms of fire dating have been completely understudied. The aim is to date fires in the forest ecosystems transformed by them in the Aktru headwater (the Severo-Chuisky Range, the Altai Mountains). The study was based on a combination of dendroindication methods where features were the fire injuries of tree rings and callus tissue, traumatic resin dusts, abrupt changes in the tree radial increment as compared to the control trees, and the age structure of the trees and seedlings of Siberian stone trees (*Pinus sibirica* Du Tour) and Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.). Additionally, eyewitness observations of fires were taken into account and the results of analysis of the layers of two soil profiles in one of the forest communities were used. In forest ecosystems transformed by fires on the left slope of the Aktru river valley the dates of local fires (1970, 1974 and 2008) were established in addition to those recorded by eyewitnesses (2004, 2011 and 2014). The three most probable past fire periods were also dated (the late 19th century, the middle and second half of the 18th century, a period earlier than the 17th century). The fires of 1974 and the late 19th century were possibly spread over most of the left slope of the valley. The causes of local fires in recent decades (2004, 2008, 2011 and 2014) were highly likely due to human activity (tourism) and the relatively dry weather. Mass fires of 1974 and the late 19th century caused primarily by the weather and climate conditions during the growing seasons.

Keywords: fire, ecosystem, dendroindication, tree ring, Siberian stone pine, Siberian larch, Altai Mountains

Одним из факторов нарушения лесных экосистем на территории Сибири являются пожары. Поскольку экосистемы лесов, особенно горных, чрезвычайно чувствительны к воздействию внешних факторов, в том числе пожаров, то последствия их воздействия приводят к изреживанию или исчезновению лесов и, как следствие, к усилению склоновых процессов в горах. Изучение пожаров сосредоточено в основном на территории равнинных лесов Сибири [1–3]. Так, на юге Западно-Сибирской равнины (Алтайский край) выявлена динамика распространения лесных пожаров за 1950–2012 гг. и факторы их вызывающие [3]. Леса Горного Алтая в этом плане изучены совершенно недостаточно. В частности, в верховьях р. Актру, в пределах ее горно-ледникового бассейна, пожары отмечены в конце XIX в. [4]. Поэтому

важное значение приобретают косвенные методы их датирования, среди которых дендроиндикационные являются наиболее перспективными [5, 6].

Цель исследования: датирование пожаров в трансформированных ими лесных экосистемах в верховьях р. Актру (Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай).

Материалы и методы исследования

Верховья р. Актру, в пределах горно-ледникового бассейна, составляющего около 40 км^2, расположены на северном макросклоне Северо-Чуйского хребта (Горный Алтай). Климат района, по данным ГМС Актру (50 °04' с.ш., 87 °45' в.д., 2150 м над ур. м.), характеризуется относительно низкими зимними (–17,2–18,6 °C) и летними (7,7–9,6 °C) температурами воздуха, годовыми суммами осадков около 550 мм и высокими амплитудами их колебаний по годам и сезонам.

Нижние части склонов (на абсолютных высотах 1990–2300 м) занимают леса из кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.). Ближе к ледникам сохранились фрагменты коренных старовозрастных кедровых лесов, ниже по долине произрастают более молодые в основном лиственничные леса, пройденные пожарами [7], т.е. экосистемы последних трансформированы пожарами. Фрагменты лесов разделены безлесными пространствами (осыпями, курумами и лавинными конусами).

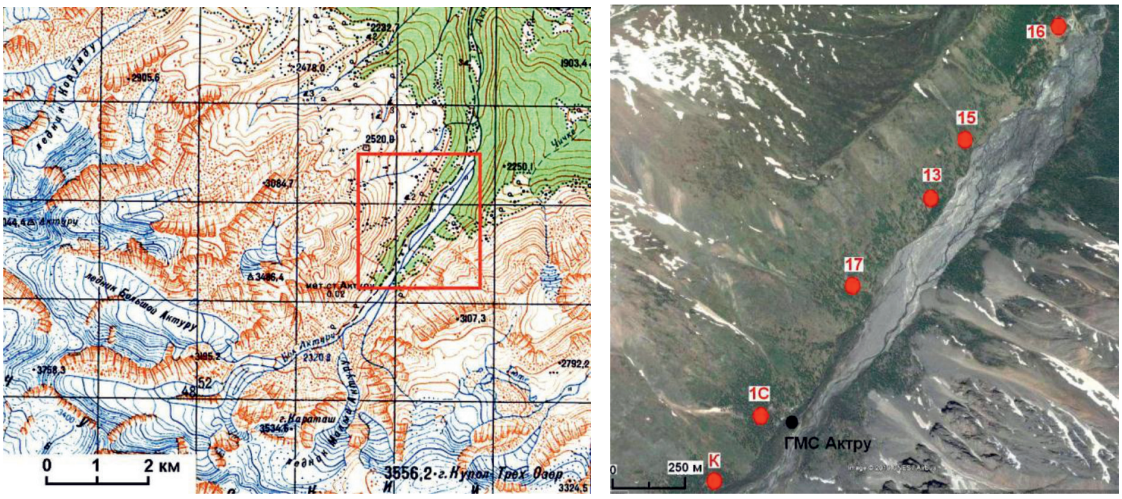
В лиственничниках заложено 4 пробных площади (ПП) на левом (юго-восточном) более сухом и пожароопасном склоне (рис. 1). На каждой ПП проведен перечет древостоя и подроста. Поскольку в верховьях р. Актру поддерживается режим близкий к заповедному, то при сборе материала использовались методы, минимизирующие уничтожение деревьев. Для установления года пожара отбирались живые деревья, имеющие его признаки (нагары, пожарные подсушины) и погибшие (обгорелые пни, сухостой). У первых брались керны, у вторых – выпилы или спилы. Контролем служили деревья, не затронутые пожарами. Дополнительно использовались данные из кедровника (ПП № 1С), расположенного на границе трансформированных и коренных лесных сообществ в зоне аккумуляции селевого бассейна. Всего было взято 186 древесных образцов с 98 деревьев (таблица).

Ширина годичных колец, или радиальный прирост, на кернах/спилах измерялась на измерительном комплексе LINTAB с точностью 0,01 мм. Затем полученные ряды прироста перекрестно датировались [5].

Для установления времени пожаров использовалась комбинация из нескольких методов дендроиндикации: травматический (используемые диагностические признаки – пожарные травмы годичных колец и каллюсная ткань), анатомический (засмоленные годичные кольца), дендрометрический (резкое значительное изменение прироста ствола деревьев по сравнению с приростами контрольных) и возрастной (оценка периодов появления новых генераций деревьев по их восстановленному возрасту и возрастной структуре древостоев) [6].

Характеристика материала из лесных сообществ по высотному профилю

№ ПП	Годы обследования	Высота над ур. м., м	Количество		
			обследованных деревьев	древесных образцов	годичных колец в образцах
1С	2012, 2015, 2018	2160–2170	24 (К)	43	103-295
17	2018	2200	7 (Л) 6 (К)	11 12	32-264 25-31
13	2008, 2018	2150	7 (Л) 9 (К)	13 20	142-214 43-100
15	2008, 2015, 2018	2070–2080	9 (Л) 1 (К)	18 2	76-184 80
16	2017	1990	7 (Л) 4 (К)	14 9	78-300 57-109
итого			74	142	
контроль	2003, 2018	2160–2180	5 (Л) 19 (К)	8 36	144-381 82-397
ПП – Пробная площадь, К – кедр, Л – лиственница.					



А *Б*

Рис. 1. А – карта верховьев р. Актру с участком исследования (в красной рамке). Б – спутниковый снимок этого участка с расположением пробных площадей (красные кружки). Цифрами показаны номера пробных площадей, К – контроль. Снимок Google Earth

Кроме вышеупомянутых методов использовались наблюдения очевидцев по пожарам в верховьях р. Актру и результаты датирования пожаров в сообществе (ПП № 1С), полученные на основе анализа восстановленного возраста деревьев и двух почвенных разрезов (глубиной 0,8 и 1,8 м). Дополнительно привлекались среднемесячные данные ГМС Актру (2150 м над ур. м., 1958–1994 гг.), а также ближайшей к ней ГМС Кош-Агач (1758 м, 1933–2012 гг.), расположенной в 70 км на северо-запад от верховий р. Актру.

Результаты исследования и их обсуждение

Древостои трансформированных лесных экосистем – лиственничные и кедрово-лиственничные – состоят из 1–2 генераций деревьев [7]. В первом ярусе этих древостоев преобладает лиственница, а кедр, как правило, встречается во втором ярусе, а также в виде обильного подроста. От самой старой генерации сохранились отдельные деревья лиственницы в возрасте 320–420 лет. Средний возраст основной генерации деревьев лиственницы и кедра составлял 210–240 лет, самой младшей – 80–120 лет. Средняя высота основной генерации деревьев – 20–22 м, диаметр 45–48 см, младшей – 7–17 м и 14–25 см соответственно. Во всех сообществах имеется подрост кедра: в трех из них он крупный (высотой 1,5–4 м) хорошей жизненности, в двух (ПП № 13, 1С) – угнетенный.

Обследованных деревьев из верхнего полога для восстановления перерывов в появлении новых генераций оказалось недостаточно. Особенно это заметно в сообществе (ПП № 17), где в недавнем прошлом прошел довольно сильный пожар: сохранились единичные взрослые деревья, уничтожен весь подрост кедра, пни деревьев сильно обгорели. Восстановленный возраст крупного подроста кедра в изученных лиственничниках не превышает 40–50 лет, т.е. он появился в 1970–1980-е гг. (рис. 2). Возраст угнетенного подроста достаточно точно не восстанавливается, что не позволяет использовать его для датирования пожаров в соответствующих сообществах (ПП № 13, 1С).

Следы нагара и послепожарные подсушины в основании стволов деревьев хорошо сохранились у части деревьев. Повреждения со стороны подсушин у отдельных деревьев охватили не только кору и луб, но и одно-два годичных кольца древесины. Радиальный прирост таких деревьев на следующий год снизился. У взрослых деревьев лиственницы он обычно восстанавливался в течение одного-двух лет. У деревьев кедра, особенно молодых, прирост древесины в районе подсушины мог сохраняться на низком уровне длительное время, а годичные кольца нередко сильно засмолялись. В дальнейшем у части сохранившихся молодых деревьев кедра резко усиливался прирост по радиусу.

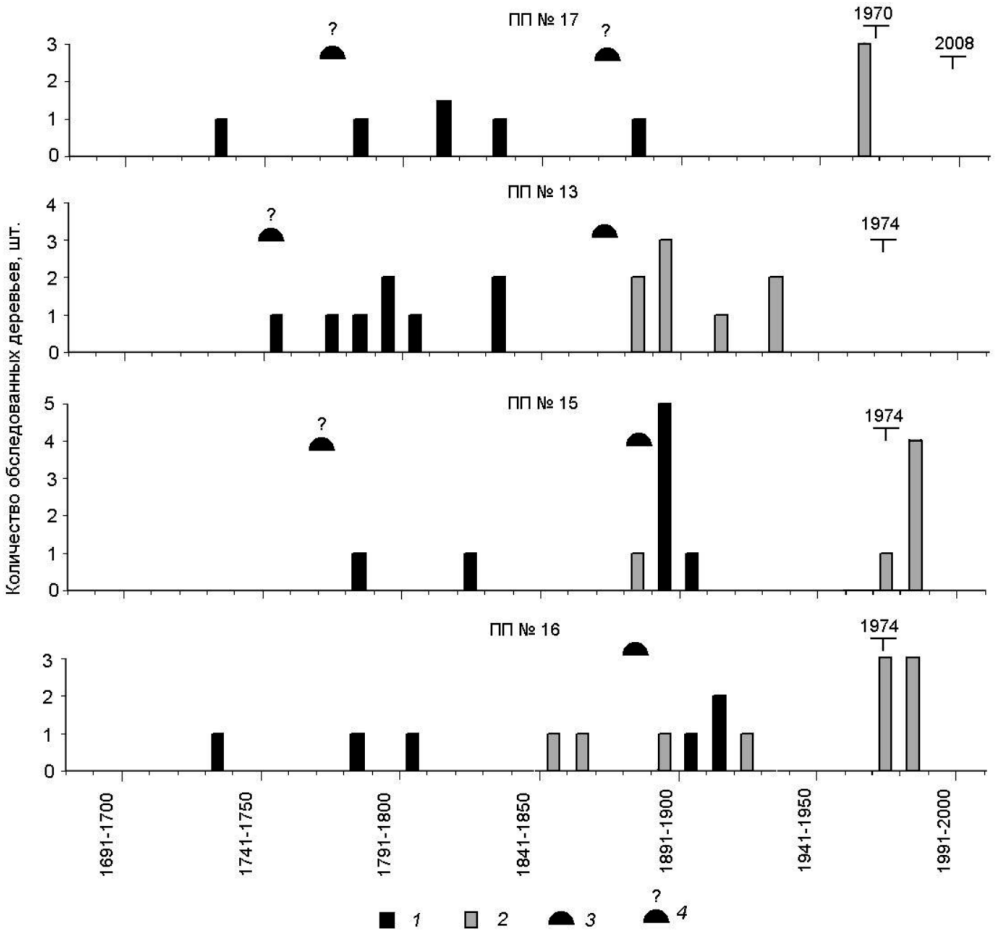


Рис. 2. Распределение обследованных деревьев лиственницы (1) и кедра (2) в трансформированных пожарами сообществах по левому склону долины р. Актру. Цифрами обозначен год локального пожара. Период пожара: установленный (3) и вероятный (4)

Учитывая вышесказанное, для реконструкции пожаров была использована совокупность методов. По дендроиндикационным признакам (травмы годичных колец, сопровождающее их резкое изменение прироста ствола деревьев и год гибели крупного кедрового подроста) были установлены годы последних локальных пожаров. Датировка послепожарных подсушин у деревьев показала, что в трех лиственничниках пожары были в 1974 г., в одном (ПП № 17) – в 1970 г. В первом случае огонь повредил в основном деревья кедра и небольшую часть деревьев лиственницы, во втором – большую часть деревьев лиственницы. После этих пожаров началось формирование новых генераций деревьев, в настоящее время представленных кедровым подростом. Крупный кедровый подрост в одном из сообществ (ПП № 17) был вновь уничтожен пожаром в 2008 г., после которого в течение последних десяти лет возобновление отсутствовало.

Датирование более давних пожаров затруднялось из-за зарастания внешних следов от пожаров, редкой встречаемости внутренних следов на кернах/спилах и наличия сердцевинной гнили у обследованных деревьев, а также из-за недостатка деревьев старших возрастов в трансформированных пожарами экосистемах. Анализ возрастной структуры и изменений прироста во всех сообществах позволил выделить еще один возможный период с пожарами – конец XIX в. (1871–1890 гг.), т.е. пожары охватили большую часть нижней половины территории левого склона долины р. Актру. По-видимому, последствия воздействия именно этих пожаров на леса описаны В.В. Сапожниковым [4], посетившим верховья р. Актру в 1898 г. Он отметил наличие сгоревшего леса с сохранив-

шимися живыми лиственницами. Периоды, предшествовавшие формированию новых генераций деревьев в верховьях р. Актру в конце XIX в. (1871–1890 гг.), близки к периодам начала формирования послепожарных лесов в южной тайге Западной Сибири (1871–1880 гг.) [1].

Еще один перерыв в появлении генераций деревьев – XVIII в., возможно, также связан с пожарами, прошедшими здесь, скорее всего во второй его половине. Из-за малого количества сохранившихся для этого периода деревьев точнее установить время их прохождения не удалось. Исключение составляет одно из сообществ (ПП № 13), где обследованные деревья начали массово появляться во второй половине XVIII в., т.е. время пожара датируется серединой XVIII в. (1751–1760 гг., рис. 2). Пожары, прошедшие в это время по левому склону долины р. Актру, подтверждаются результатами анализа восстановленного возраста деревьев и слоев почвенного разреза из кедровника, расположенного зоне аккумуляции селевого бассейна (ПП № 1С). Основная генерация деревьев здесь имеет возраст 150–200 лет, единичные – 250 лет, т.е. пожар произошел на рубеже XVIII–XIX вв. Ему соответствует ровный слой обугленной древесины в кровле слоя № 4 двух разрезов, т.е. в это время сгорела большая часть деревьев в данном кедровнике [8].

Еще один пожар, который был в далеком прошлом, выявляется по наличию обугленной древесины в селевых слоях двух разрезов в этом кедровнике (ПП № 1С). Частицы углей перемешаны с селевым материалом в слое № 6, т.е. они были принесены селевым потоком с вышерасположенного участка сгоревшего леса. Поскольку слой № 5 датирован концом XVI в. – началом XVII в. [8], то пожар этого участка леса произошел до XVII в.

Сильные пожары часто связывают с засухами вследствие господства блокирующих антициклонов в атмосфере [2, 9], с продолжительными (15–48 дней) периодами без дождей в течение пожароопасных сезонов [1]. Локальные участки леса в верховьях р. Актру, по наблюдениям очевидцев, горели в 2004, 2011, 2014 гг. Причиной возникновения пожаров в эти годы, скорее всего, было неосторожное обращение с огнем на фоне более засушливых погодных условий (по данным ГМС Кош-Агач).

Вегетационный сезон 1974 г. с массовыми пожарами по левому склону долины был сухим (на 51% меньше осадков по сравнению со среднемноголетними значениями, ГМС Актру) и жарким (температуры на 1,5–2 °С выше), а 1973 г. – прохладным и влажным. За зиму 1973–1974 гг. выпало на 23% меньше снега, чем обычно. Кроме того, в лесу за предыдущий беспожарный период, по-видимому, накопился горючий материал. Таким образом, в 1974 г. сформировались условия для возникновения и развития пожара. Аналогичная ситуация наблюдалась и на прилегающей равнинной территории (Алтайский край) [3]. Метеорологические условия 1970 и 2008 гг. были менее напряженные по сравнению с 1974 г. Благоприятные условия для возникновения пожаров в 1970 г. наблюдались в отдельные месяцы (повышенная температура и пониженная сумма осадков были в августе), а жаркая погода на фоне повышенного или среднемноголетнего количества осадков в 2008 г. была в течение всего вегетационного сезона.

Пожары в конце XIX в. в верховьях р. Актру совпадают с периодами потеплений, выявленных по динамике хода реконструированной температуры [7], которые, скорее всего, сопровождались длительными периодами без дождей. В это время пожары наблюдались и на юге Западной и Средней Сибири [1], т.е. они охватили большую территорию и, видимо, были вызваны сходными изменениями климата (повышенная температура и пониженное количество осадков).

Заключение

Настоящее исследование было основано на дендроиндикационных методах, где признаками служили: наличие травм годичных колец, каллюсной ткани и засмоленных колец, даты гибели крупного кедрового подроста, резкое изменение прироста ствола деревьев по сравнению с контролем, возрастная структура древесного яруса на основе восстановленного возраста деревьев кедра сибирского и лиственницы сибирской. Дополнительно учитывались наблюдения очевидцев за пожарами и использовались результаты анализа слоев двух почвенных разрезов в одном из сообществ.

В трансформированных пожарами лесных экосистемах левого склона долины в верховьях р. Актру, в пределах горно-ледникового бассейна (Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай), установлено точное время локальных пожаров (1970, 1974 и 2008 гг.) в дополнение к зафиксированным очевидцами (2004, 2011, 2014 гг.). Также определены три наиболее вероятных периода по-

явления пожаров в прошлом (конец XIX в., середина и вторая половина XVIII в., период ранее XVII в.). Пожары 1974 г. и конца XIX в., по-видимому, были распространены на большей части левого склона долины. Причинами локальных пожаров последних десятилетий (2004, 2008, 2011 и 2014 гг.), скорее всего, было неосторожное обращение с огнем на фоне относительно засушливой погоды. Массовые пожары 1974 г. и конца XIX в. вызваны в первую очередь напряженными погодно-климатическими условиями вегетационных сезонов соответствующих лет.

Исследование было выполнено в рамках госбюджетной темы № АААА-А17-117013050039-4.

Список литературы / References

1. Фуряев В.В. Периоды высокой горимости и их роль в лесообразовательном процессе // Сибирский экологический журнал. 1996. № 1. С. 67–71.

Furyaev V.V. Fire periods and their role in the forest formation process // Sibirskiy ecologichesky zhurnalcal. 1996. № 1. P. 67–71 (in Russian).

2. Цветков П.А., Буряк Л.В. Исследование природы пожаров в лесах Сибири // Сибирский лесной журнал. 2014. № 3. С. 25–42.

Tsvetkov P.A., Buryak L.V. Studies of Fire Nature in the Forests of Siberia // Siberian Journal of Forest Science. 2014. № 3. P. 25–42 (in Russian).

3. Фроленков И.М., Фроленков О.М. Динамика распространения лесных пожаров в Алтайском крае // Мир науки, культуры, образования. 2014. № 1 (44). С. 394–397.

Frolenkov I.M., Frolenkov O.M. The dynamics of the spread of forest fires in the Altai region // Mir nauki, kultury, obrazovaniya. 2014. № 1 (44). P. 394–397 (in Russian).

4. Сапожников В.В. По Русскому и Монгольскому Алтаю. М.: Изд. геогр. лит-ры, 1949. 578 с.

Sapozhnikov V.V. Along the Mongolian and Russian Altai. M.: Izd-vo geogr. lit-ry, 1949. 578 p. (in Russian).

5. Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазепа В.С., Наурзбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Ч.1. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. Красноярск: Изд. КрасГУ, 2000. 80 с.

Shiyatov S.G., Vaganov E.A., Kirdyanov A.V., Kruglov V.B., Mazepa V.S., Naurzbayev M.M., Khantemirov R.M. Methods of dendrochronology. Part 1. Basis of dendrochronology. Collection and determination of tree ring information. Krasnoyarsk: Izd. KrasGU, 2000. 80 p. (in Russian).

6. Stoffel M., Corona C. Dendroecological dating of geomorphic disturbance in trees. Tree-ring research. 2014. Vol. 70. № 1. P. 3–20. DOI: 10.3959/1536-1098-70.1.3.

7. Timoshok E.E., Timoshok E.N., Nikolaeva S.A., Savchuk D.A., Filimonova E.O., Skorokhodov S.N., Bocharov A.Yu. Monitoring of high altitudinal terrestrial ecosystems in the Altai Mountains. IOP conf. series: Earth and environmental science. 2016. Vol. 48. P. 1–9. DOI: 10.1088/1755-1315/48/1/012008.

8. Николаева С.А., Савчук Д.А., Кузнецов А.С. Датирование селевой активности в горно-ледником бассейне Актру (Горный Алтай) // Геориск. 2017. № 2. С. 56–63.

Nikolaeva S.A., Savchuk D.A., Kuznetsov A.S. Dating of debris flow activity in the Aktru mountain glacier basin (the Altai Mountains) // Georisk. 2017. № 2. P. 56–63 (in Russian).

9. Валендик Э.Н., Кисиляхов Е.К., Рыжкова В.А., Пономарев Е.И., Голдаммер Й.Г. Лесные пожары в Средней Сибири при аномальных погодных условиях // Сибирский лесной журнал. 2014. № 3. С. 43–52.

Valendik E.N., Kisilyakhov E.K., Ryzhkova V.A., Ponomarev E.I., Goldammer J.G. Forest Fires Under Abnormal Weather Conditions in Central Siberia // Siberian Journal of Forest Science. 2014. № 3. P. 43–52 (in Russian).

УДК 91:502.7

СТЕПЕНЬ АНТРОПОГЕННОЙ ИЗМЕНЕННОСТИ ТИПОВ МЕСТНОСТЕЙ ЭЛЬГИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ

Пинигин Д.Д., Ноговицын Д.Д., Николаева Н.А., Шеина З.М., Сергеева Л.П.

ФГБУН ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, Якутск, e-mail: pinigind@mail.ru

Для прогнозирования геоэкологических изменений природной среды на территории одной из крупнейших ресурсных баз Республики Саха (Якутия) – Эльгинском месторождении каменных углей, необходимы исследования мониторинга изменения ландшафтов. В связи с труднодоступностью и удаленностью месторождения одним из ценных инструментов экологического мониторинга является метод анализа космических снимков. Этот метод в совокупности с методами ландшафтного анализа дает возможность зонирования территорий ландшафтов на уровне типов местностей по степени их антропогенной измененности. Был проведен анализ цветных космических снимков. Разработана карта зонирования ландшафтов территории разработки Эльгинского месторождения масштаба 1:100 000, измененных антропогенной деятельностью, по четырем степеням их нарушенности. Путем совмещения в GIS-программе карт типов местностей и степеней нарушенности проведена оценка антропогенной измененности типов местностей. В результате зонирования нарушенных земель лицензионного участка Эльгинского месторождения выявлено три источника техногенного воздействия, соответствующих различным факторам воздействия на природные ландшафты: 1) Эльгинский разрез; 2) породный отвал обогатительной фабрики и примыкающий к нему пруд-отстойник; 3) район бывшего поселка геологической партии. При этом динамично развивающимися являются первые два очага антропогенного воздействия. Выявлено, что наибольшая доля преобразованных ландшафтов (7,5%) приходится на горно-склоновый тип местности, сильно измененных ландшафтов (16,9%) – на плоскогорно-привершинный тип местности. Ледниково-долинный тип местности вследствие удаленности от основных очагов антропогенного воздействия определен как измененный в средней степени. Предгорно-моренный и горно-долинный типы местности отнесены к малоизмененным типам местности.

Ключевые слова: Эльгинское месторождение, космоснимки, ландшафты, типы местности, зонирование, антропогенная измененность

DEGREE OF ANTHROPOGENIC CHANGE OF TERRAIN TYPES OF THE ELGINSKY COAL DEPOSIT

Pinigin D.D., Nogovitsyn D.D., Nikolaeva N.A., Sheina Z.M., Sergeeva L.P.

Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Center «Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences» Institute of Physical and Technical Problems of the North named after V.P. Larionov, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: pinigind@mail.ru

To predict geoecological changes in the natural environment on the territory of one of the largest resource bases of the Sakha Republic (Yakutia) – the Elginsky coal deposit, it is necessary to monitor landscape change. Due to the inaccessibility and remote location of the deposit one of the valuable tools of environmental monitoring is the method of space images analysis. This method in conjunction with the methods of landscape analysis gives the possibility to zone landscapes territories at the level of types of districts according to their degree of anthropogenic change. Indication of landscape disturbances in the focal area of the Elginsky Mining with the most intense character was made by color image from Sentinel-2A spacecraft, and the assessment of violations of the rest of the territory – by the space images of Bing Maps service. The map of landscapes zoning with scale 1:100 000 of the territory of development of the Elginsky deposit changed by anthropogenic activity according to four degrees of their disturbance has been developed. By combining in QGIS 2.18. the maps of types of terrain and degrees of disturbance the estimation of anthropogenic change of types of localities has been carried out. As a result of zoning of disturbed lands of the licensed site of the subsoil use on the Elginsky deposit three sources of man-made impacts have been revealed which correspond to different factors of impact on natural landscapes: 1) Elginsky incision; 2) rock waste disposal area of coal-preparation plant and the adjoining sediment pond; 3) the area of the former settlement of a geological party. First two focal points of anthropogenic impact are dynamically developing. It is revealed that the greatest share of the changed landscapes (7,5%) falls on the mountain-slope type of terrain, heavily changed landscapes (16,9%) – on upland-near-to-summit type of area. Glacier-valley type of terrain due to the farness distance from the main foci of anthropogenic impact is defined as average degree changed. Piedmont-moraine and mountain-valley types of terrain are referred to little-changed types of terrain.

Keywords: Elginsky deposit, space images, landscapes, types of terrain, zoning, anthropogenic change

Запасы угля на Северо-Западном участке Эльгинского угольного месторождении, разрабатываемом с 2011 г., составляют 2 млрд т коксующегося и энергетического угля [1], что означает долгосрочное и значительное по масштабам воздействие на природную среду юго-восточной оконечности Республики Саха (Якутия). В связи с этим оценка современного изменения естественных ландшафтов на территории месторож-

дения представляет определенный научный интерес. Из-за удаленности месторождения одним из ценных инструментов такой оценки является метод анализа космических снимков. Имеющиеся космоснимки высокого разрешения, а также ландшафтные карты среднего масштаба [2] предоставляют возможность районирования оценки измененности различных ландшафтов на уровне типов местностей.

Объект исследования: территория лицензионного участка ЯКУ № 14425 ТЭ в пределах Северо-Западного участка Эльгинского месторождения. Согласно материалам ОАО ХК «Якутуголь» площадь ее составляет 108,96 км^2, в границах контура территория имеет статус горного отвода.

Предмет исследования: антропогенное изменение ландшафтов на территории лицензионного участка недропользования Эльгинского месторождения углей.

Цель исследования: анализ измененности типов местностей территории лицензионного участка недропользования Эльгинского месторождения углей.

В настоящее время участок недропользования практически целиком представлен измененными ландшафтами за счет строительства и эксплуатации Эльгинского угольного комплекса, сети разведочных скважин, а также вездеходных дорог на плоскогорьях и склонах различной экспозиции. Антропогенные изменения данных ландшафтов, большая часть из которых относится к горно-склоновому типу местности, фиксируются на космических снимках (Сервис Bing Maps, Google Earth, Yandex).

В физико-географическом отношении территория относится к окраинной части Токинской впадины и северным отрогам хребта Токинский Становик, к водосборным бассейнам рек Ундыткан, Укикит, Эльга, Укикиткан. К юго-востоку от участка расположено озеро Большое Токо (S = 85 км^2) [3].

Район исследования характеризуется сложным строением с среднегорным расчлененным рельефом с высотами 900–1400 м н.у.м. и более (рис. 1).

В Токинской котловине наибольшее распространение имеют осадочные породы юрского возраста, а также встречаются четвертичные образования, представленные ледниковыми, водно-ледниковыми, аллювиальными и элювиально-делювиальными рыхлыми породами.

Климат района суровый, резко континентальный, отличающийся холодной долгой зимой, коротким и теплым летом и кратковременностью переходных периодов. Среднегодовая температура –11,4 °С, среднее годовое количество осадков – 486 мм. На территории преобладают штили 60 %.

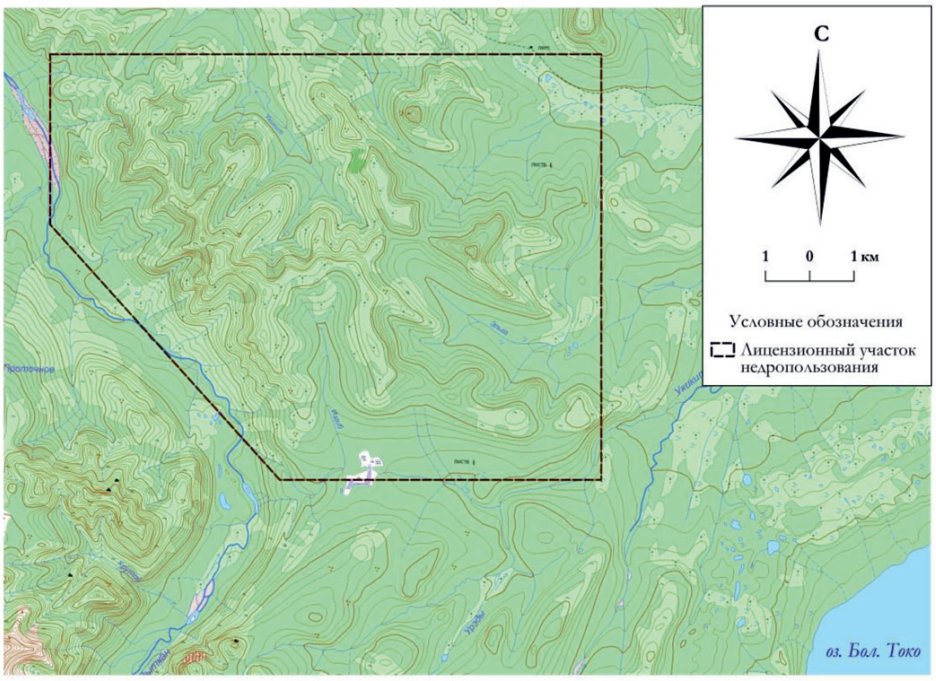


Рис. 1. Лицензионный участок недропользования на топографической карте. Масштаб 1:200 000

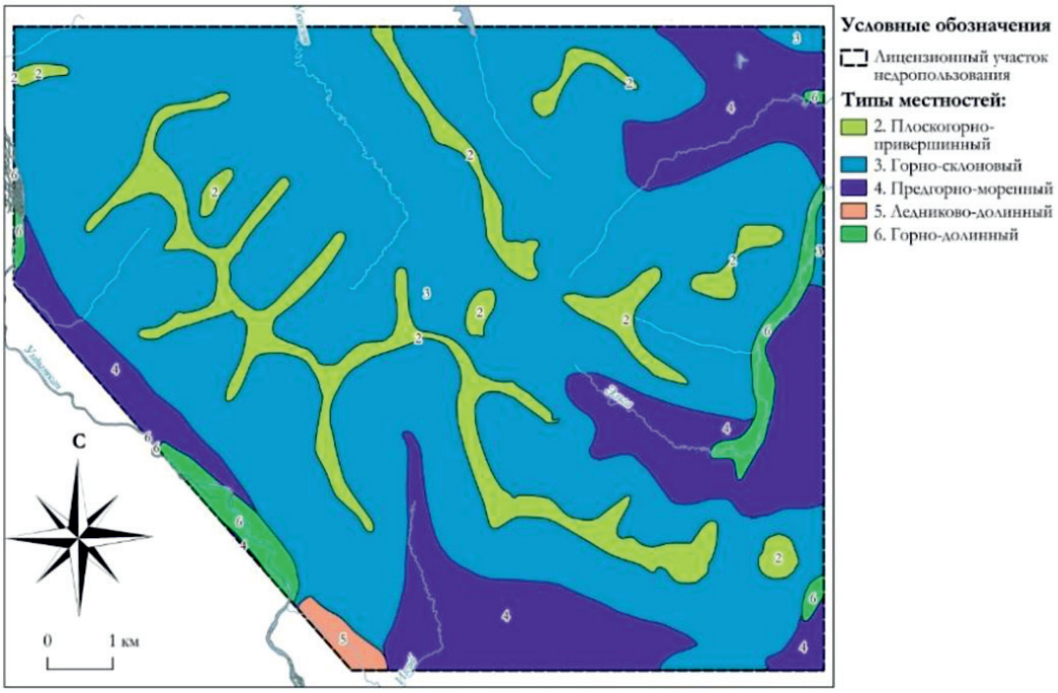


Рис. 2. Типы местности лицензионного участка недропользования Эльгинского угольного месторождения

Территория месторождения относится к зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород (>95 % мерзлых пород) с мощностью 50–200 м с объемной льдистостью порядка 25–45 %.

Согласно геоботаническому районированию участка основное распространение здесь получили лиственничники. На вершинах плоскогорий нередки кедровостланники голубично-лишайниковые, на склонах – ельники аянские. В днищах долин рек Укикит, Эльга, Изгиб, Урэды и их притоков встречаются осоково-вейниковые закочкаренные сообщества.

Ландшафтная структура изучаемой территории, расположенной в Тимптоно-Учурской среднегорной провинции, состоит из четырех типов местности: плоскогорно-привершинного, горно-привершинного, горно-склонового и горно-долинного – и представлена сочетанием высотно-поясных и интразональных природно-территориальных комплексов – горно-редколесных, горно-тундровых, подгольцовых и горно-долинных [2]. Площади типов местности данного участка рассчитаны и распределены следующим образом, %: плоскогорно-привершинный (9,7), горно-склоновый (68,7), предгорно-моренный (18,4), ледниково-долинный (0,58) и горно-долинный (2,6) (рис. 2).

Материалы и методы исследования

Основой оценки нарушенности ландшафтов являются аэрокосмические методы исследования – анализ цветных космических снимков сервиса Bing Maps 2010 г., а также цветных снимков «True Colour Image» (TCI) с космических аппаратов Sentinel-2 от 6 мая 2018 и 8 июня 2019 г. Космоснимки Bing получены через модуль OpenLayers Plugin в ПО QGIS 2.18. Космоснимки Sentinel-2 в формате JPEG2000. Индикация нарушений ландшафтов в зоне Эльгинского ГОКа, носящих наиболее интенсивный характер, произведена по цветному снимку КА Sentinel-2A 8 июня 2019 г. К данным ландшафтам относится главным образом северная часть лицензионного участка. Оценка для остальной части территории произведена по космоснимкам сервиса Bing Maps. Площади очерченных ландшафтов выведены в GIS-программе путем проекции на эллипсоид WGS84.

Также использовалась методика ландшафного анализа, включающая различные методики по оценке антропогенной измененности природной среды [4, 5].

Так, для группировки земель по степеням нарушенности использована градация для горных областей, состоящая из дифференциации антропогенных ландшафтов по пяти степеням нарушенности [5]. Зависимость различных степеней нарушенности природной среды, фиксируемых на космоснимках, от техногенного воздействия показана в табл. 1.

При оценке нарушенности ландшафтов, в числе техногенных факторов воздействия на окружающую среду, учтена площадь образования пылевого пятна на снежном покрове исследуемого участка. Выявлена зона преимущественного механического загрязнения газопылевыми выбросами – склоны долины р. Укикит и ее притоков. В связи с этим данная территория отнесена к существенно измененным ландшафтам.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведено зонирование измененных антропогенной деятельностью природных ландшафтов по степеням их нарушенности [5], в результате которого разработана карта масштаба 1:100 000, представляющая цифровую модель исследуемой территории с выделенными ареалами четырех степеней нарушения ландшафтов.

Выявлено, что преобладающая часть земель с наивысшей степенью измененности (преобразованные ландшафты) приурочена к карьерно-отвальному комплексу с подъездными автодорогами, занимающая 86,7% площади; при этом от площади земель с сильно измененными ландшафтами к полю разреза относится 51,7%; к зонам с развитием дорожной сети – 43,5%; к прочим инфраструктурным объектам – 2,4%, и 1,9% относится к селитебным зонам. Существенно измененными являются обширные площади склонов долин рек Ундыткан и Укикит и их притоков, пораженные пылевыми выбросами в результате эксплуатации разреза, а также территории с развитием транспортной сети. К последним относится верховье р. Изгиб, примыкающее к селитебной зоне и др. Вся остальная часть исследуемой территории представлена слабо измененными ландшафтами (рис. 3).

Для оценки антропогенной измененности типов местностей карты типов местностей и степеней нарушенности масштаба 1:100 000 были наложены друг на друга в программе QGIS 2.18 с получением 228 контуров с выведением площади. В табл. 2 представлены суммы площадей типов местности, распределенных по степеням нарушенности.

Выявлено, что наибольшая доля преобразованных ландшафтов (7,5%) приходится на горно-склоновый тип местности, сильно измененных ландшафтов (16,9%) – на плоскогорно-привершинный тип местности. Ледниково-долинный тип местности вследствие удаленности от основных очагов антропогенного воздействия определен как измененный в средней степени. Предгорно-моренный и горно-долинный типы местности отнесены к малоизмененным типам местности.

Таблица 1

Объекты техногенного воздействия по степеням нарушенности природной среды при освоении Эльгинского месторождения по [5]

№ п/п	Степень нарушенности	Объекты воздействия в пределах лицензионного участка	Описание космоснимка
1	Неизмененные ландшафты	–	
2	Слабо измененные ландшафты	Территории горной разведки, заросшие вездеходные тропы	Долина левого притока р. Эльга
3	Существенно измененные ландшафты	Автомобильные дороги на вершинах плоскогорий, вездеходные тропы	Склоны долины правого притока р. Укикит
4	Сильно измененные ландшафты	Угольный разрез на стадии подготовки к вскрышным работам, лесосеки, полигоны разведочных работ, гидротехнические сооружения, технологические автодороги на склонах, селитебная зона	Поле разреза первоочередной отработки месторождения на стадии вскрышных работ
5	Преобразованные ландшафты	Карьерно-отвальный ландшафт; автомобильные дороги на насыпях	Действующий разрез и отвалы вскрышных работ

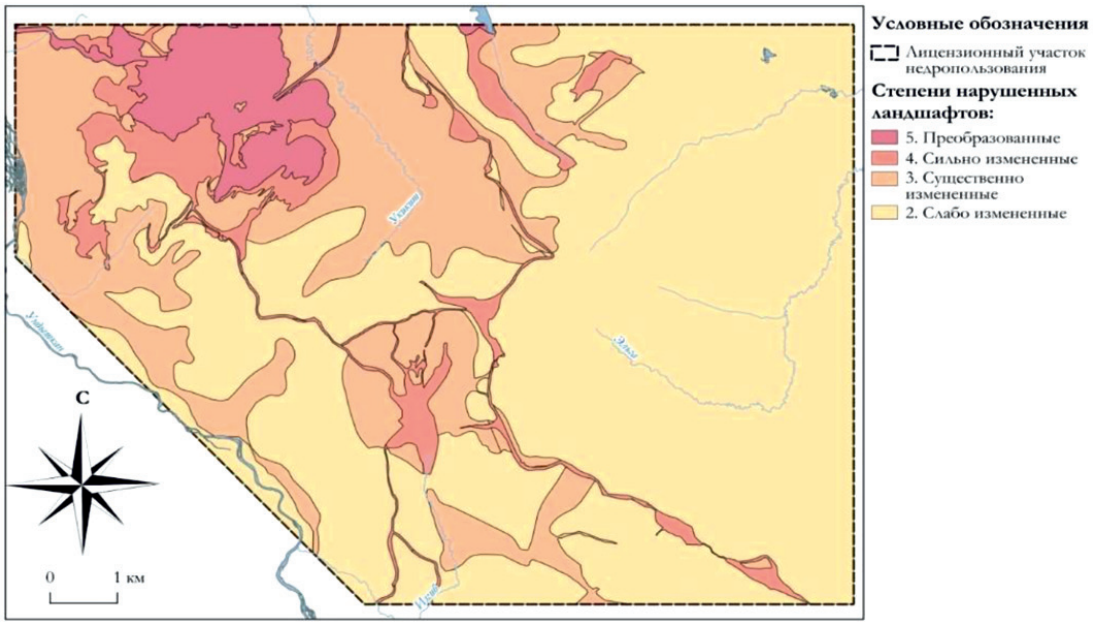


Рис. 3. Карта распределения земель по степеням нарушенности

Таблица 2

Площади нарушенности типов местности, распределенных по степеням, км^2

№ п/п	Типы местности	Степени нарушенности ландшафтов				Всего
		5	4	3	2	
1	Плоскогорно-привершинный	0,382	2,121	3,189	6,843	12,534
2	Горно-склоновый	4,967	4,267	18,759	38,211	66,206
3	Предгорно-моренный	0,000	0,283	2,918	15,309	18,510
4	Ледниково-долинный	0,000	0,016	0,018	0,549	0,583
5	Горно-долинный	0,000	0,000	0,342	2,249	2,590
	Всего	5,349	6,687	25,226	63,160	100,422

Заключение

В результате зонирования нарушенных земель лицензионного участка недропользования Эльгинского месторождения выявлены три очага антропогенного воздействия, соответствующих отдельным факторам техногенного воздействия: 1) Эльгинский разрез; 2) породный отвал обогатительной фабрики и примыкающий к нему пруд-отстойник; 3) район бывшего поселка геологической партии. При этом динамично развивающимися являются первые два очага.

Прямое воздействие, включающее изъятие вмещающих пород, нарушение режима поверхностных и подземных вод, уничтожение почвенно-растительного покрова и т.д., обусловило преобладание доли добычных работ в нарушении как преобразованных (86,7%), так и сильно измененных ландшафтов (51,7%). Среди существенно нарушенных земель выявлены площади земель, на которые оказано опосредованное воздействие разреза (пылевое пятно от техногенных выбросов пыли, сажи и т.д.).

При анализе изменения ландшафтов исследуемой территории наибольшему преобразованию подверглись горно-склоновый и плоскогорно-привершинный типы местности. При этом на менее устойчивом горно-склоновом типе местности выявлены большие площади сильно нарушенных земель с зафиксированными площадями активизации экзогенных процессов и предположительно медленным зарастанием растительностью.

Список литературы / References

1. Павлов Н.В., Пинигин Д.Д. Особенности освоения и техногенное воздействие Эльгинского угольного комплек-

са на природную среду // Энергетика России в XXI веке. Инновационное развитие и управление: Сборник трудов Всероссийской конференции (Иркутск, 1–3 сентября 2015 г.). Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. С. 511–515.

Pavlov N.V., Pinigin D.D. Development features of the Elginsky coal mine and its environmental impact // Jenergetika Rossii v XXI veke. Innovacionnoe razvitie i upravlenie: Sbornik trudov Vserossijskoj konferencii (Irkutsk, 1–3 sentjabrja 2015 g.). Irkutsk: ISJeM SO RAN, 2015.P. 511–515 (in Russian).

2. Варламов С.П., Макаров В.С. Васильев И.С., Торговкин Я.И. Особенности ландшафтной структуры района строительства Эльгинского угольного комплекса и прилегающей территории // Наука и образование. 2011. № 4 (64). С. 21–24.

Varlamov S.P., Makarov V.S., Vasiliev I.S., Torgovkin Y.I. Features of the landscape structure of the construction area of the Elga coal complex and the adjacent territory // Nauka i obrazovanie. 2011. № 4 (64). P. 21–24 (in Russian).

3. Биоразнообразие ландшафтов Токинской котловины и хребта Токинский Становик / отв. ред. Б.И. Иванов. Новосибирск: Изд. СО РАН, 2010. 284 с.

Biodiversity of landscapes of the Tokinsky hollow and the Tokinsky Ridge / ed. B.I. Ivanov Novosibirsk: Izd. SO RAN, 2010. 284 p. (in Russian).

4. Антипова А.В. Россия. Эколого-географический анализ территории. Москва – Смоленск: Маджента, 2011. 384 с.

Antipova A.V. Russia. Ecological and geographical analysis of the territory. Moskva – Smolensk: Madzhenta, 2011. 384 p. (in Russian).

5. Пучкин А.В. Картографирование антропогенной измененности ландшафтов // География и природные ресурсы. 2007. № 4. С. 130–134.

Puchkin A.V. Mapping of anthropogenic landscape changes // Geography and natural resources. 2007. № 4. P. 130–134 (in Russian).

УДК 550.4:546.791

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ УРАНА В ПОЧВЕ, ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РАЙОНА БЫВШЕГО РАДИЕВОГО ПРОМЫСЛА

Рачкова Н.Г., Шапошникова Л.М.

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, e-mail: nata.rachkova67@mail.ru

Методами фильтрации поверхностных вод и химического фракционирования почв и донных отложений исследованы абсолютные и относительные содержания форм нахождения урана в природных комплексах района бывшего предприятия по добыче радия из подземных вод (Республика Коми). Основная часть урана в загрязненных аллювиально-дерновой и подзолистой почвах и донных осадках обнаруживается в малоподвижной фракции «нерастворимая», что определяет низкую интенсивность рассеяния элемента с поверхностными водами и его слабое концентрирование в речных отложениях. В почвах долевое распределение урана между подвижными формами нахождения соответствует возрастающему ряду: водорастворимая < аморфные силикаты ≤ обменная < полуторные оксиды и гидроксиды < карбонаты < органическое вещество. Подтверждено заметное влияние природных органических соединений на геохимическую подвижность элемента, что выявляется по его значительному содержанию в соответствующей фракции как в почвах (до 19%), так и в донных осадках (до 9%). В речных отложениях зоны влияния радиоактивного загрязнения уран фракций «полуторные оксиды и гидроксиды» и «органическое вещество» характеризуется максимальными концентрациями, что отличает их от фоновых илов, имеющих практически равное распределение элемента по подвижным формам нахождения. Вне зависимости от места пробоотбора уран преимущественно мигрирует с растворимой компонентой природных вод. Его транспорт со взвешенным веществом второстепенен (до 15%) и зависит от pH и концентрации ионов железа в водах. Разгрузка радиоактивно загрязненных вод в реку сопровождается ассоциацией урана с органическим веществом, что обнаруживается по увеличению содержания элемента в соответствующей фракции речных донных осадков.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, уран, формы нахождения, поверхностные воды, почва, донные отложения, химическое фракционирование, взвешенное вещество

URANIUM SPECIATION IN SOILS, SURFACE WATERS AND BOTTOMS FROM FORMER RADIUM PLANT AREA

Rachkova N.G., Shaposhnikova L.M.

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

The absolute and relative contents of uranium speciations in natural complexes of the area of former enterprise for extraction of radium from underground waters (Komi Republic) were studied by surface water filtration and chemical fractionation of soils and bottom sediments. The main part of uranium in contaminated alluvial-soddy and podzolic soils, and bottom sediments is found in immobile fraction «insoluble», which determines low intensity of dispersion of the element from surface waters and its weak concentration in river sediments. In soils, the uranium distribution between mobile forms corresponds to an increasing series: watersoluble < amorphous silicates ≤ exchangeable < one-and-a-half oxides and hydroxides < carbonates < organic matter. A noticeable effect of natural organic compounds on uranium geochemical mobility was confirmed, which is revealed by its significant content in the corresponding fraction both in soils (up to 19%) and in bottom sediments (up to 9%). In river deposits of the impact zone of radioactive contamination, uranium fractions «one-and-a-half oxides and hydroxides» and «organic matter» are characterized by maximum concentrations, which distinguishes them from background silts with almost equal distribution of the element over mobile forms. Regardless of the location of sampling, uranium mainly migrates with soluble component of natural waters. Its transport with suspended matter is secondary (up to 15%) and depends on pH and concentration of iron ions in waters. The discharge of radioactively contaminated waters into river is accompanied by uranium association with organic matter, which is detected by an increase of element content in corresponding fraction of river sediments.

Keywords: contamination of radionuclides, uranium, radionuclide speciation, surface waters, soil, bottoms, successive chemical extracting, suspended matter

Повышенные концентрации урана в окружающей среде опасны из-за его радиоактивности и биотоксичности, возможности рассеяния и вторичного концентрирования в природных комплексах зоны влияния радиоактивного загрязнения. Интенсивность этих процессов зависит от форм нахождения элемента в окружающей среде, что повышает актуальность их исследования применительно к речным водам, почвам и донным отложениям.

Цель исследования – на основе данных о содержании и формах нахождения урана в радиоактивно загрязненных почвах, водах и донных отложениях оценить интенсивность рассеяния и концентрирования радиоактивного элемента в природных комплексах района добычи радия из минерализованных подземных вод (Республика Коми).

Материалы и методы исследования

Пробы почв, загрязненных более 60 лет назад вследствие деятельности радиевого промысла, отбирали на двух участках, ранее занятых его производственными объектами. Первый из них, с подзолистой почвой, рас-

положен в лесу вдали от водотоков и загрязнен отходами древесного угля, содержащего естественные радиоактивные элементы. Второй участок, с аллювиально-дерновой почвой, представлен лугом в междуречье рр. Ухта и Чуть, где сбрасывали минерализованные подземные воды после выделения из них радия.

Почвы отбирали из слоя (0–20 см) методом «конверта», донные отложения – в пунктах отбора воды из слоя ила (0–10 см). Затем пробы высушивали при 25 °С, просеивали через сито 1 мм. Из них последовательно экстрагировали фракции геохимически подвижных соединений: «обменная» (1 моль/дм^3 CH_3COONH_4, pH 7); «карбонаты» (1 моль/дм^3 CH_3COONH_4 + HNO_3 до pH 5); «полуторные оксиды и гидроксиды» (0,1 моль/дм^3 $NH_2OH \cdot HCl$ + 25 % CH_3COOH); «органическое вещество» (30 % H_2O_2 + HNO_3 до pH 2); «аморфные силикаты» (0,2 моль/дм^3 NaOH) [1]. Остаток проб после обработки считали фракцией «нерастворимая». Предварительно перед фракционированием из почв дистиллированной водой экстрагировали (перемешивание 24 ч) растворимые в воде соединения урана (фракция «водорастворимая»).

Природные воды отбирали из поверхностной толщи искусственных водоемов на участках (мелиоративная сеть) и с глубины 20–50 см речного потока (р. Ухта) в зоне влияния участков с загрязненными почвами. Исследовали валовое содержание (из пробы объемом 1 дм^3) и формы нахождения урана с разной дисперсностью частиц. Для выделения последних образец объемом 5 дм^3 последовательно пропускали через фильтры «белая лента» и «Владипор» ФМАЦ 0.45. Рассчитывали долевое распределение урана между крупной взвесью (частицы > 3,5 мкм, дополнительно к валовому содержанию), взвешенным веществом (0,45–3,5 мкм) и раствором без взвесей.

Уран количественно анализировали в пробах люминесцентным методом [2].

Результаты исследования и их обсуждение

В производственных отходах радиевого промысла оставались большие количества радия и урана. Содержание последнего в твердых материалах достигало 0,11 мг/г, что на 2–3 порядка больше средних фоновых значений для почв [3]. О концентрации урана в отработанных подземных водах промысла нет информации. В результате поступления тех или иных радиоактивных отходов на дневную поверхность участков расположения промысла некоторые почвы в районе оказались загрязнены ураном [4]. Так, в исследованных образцах (табл. 1) концентрации урана были выше в 1,1–70 раз по сравнению с фоновыми почвами района, где содержания радиоактивного элемента понижены или слабо понижены [5].

Таблица 1

Содержание урана в образцах загрязненных почв слоя (0–20 см)

Тип почвы	№ образца	Содержание урана, мкг/г*
Аллювиально-дерновая	1	1,93 ± 0,31
	2	1,50 ± 0,27
	3	0,53 ± 0,11
Подзолистая	4	17,5 ± 3,2
	5	34,9 ± 6,75
	6	4,93 ± 0,89

Примечание: *приведены среднеарифметическое значение и ее стандартная ошибка.

В загрязненной подзолистой почве уран аккумулировался в подстилке и слое 0–20 см [4], преимущественно составленном твердыми радиоактивными отходами. Эта почвенная толща характеризуется слабокислым-слабощелочным водородным показателем (pH = 4,5–7,6), богата фосфором и калием, обменными кальцием и магнием. В верхнем горизонте аллювиально-дерновой почвы валовые концентрации радиоактивного элемента, кислотность и содержание минеральных элементов были заметно меньше.

По результатам экстрагирования урана из почвенных образцов, минимальное его содержание было выявлено во фракциях «водорастворимая», «обменная» и «аморфные силикаты» (рис. 1). В экстрактах геохимически подвижных групп соединений «карбонаты», «полуторные оксиды и гидроксиды», а также «органическое вещество» радиоактивного элемента обнаруживалось больше. Максимальное количество урана было сосредоточено в нерастворимом остатке. В аллювиально-дерновой почве на его долю приходилось 62–92 % валовой концентрации элемента. В случае подзолистой почвы диапазон варьирования этого показателя был шире (21–86 %), по-видимому, вследствие неравномерности исходного распределения производственных отходов на территории участка. Таким образом, значительная часть урана в почвенных пробах находилась в геохимически малоподвижном прочносвязанном состоянии.

Заметим, что образцы подзолистой и аллювиально-дерновой почв со сравнительно низким валовым содержанием радиоактивного элемента имели меньшую долю его нерастворимой фракции, а для проб с высокой концентрацией поллютанта были характерны большие количества неэкстрагируемого урана (рис. 2). Высокий коэффициент корреляции ($r = 0{,}947$ при $p \leq 0{,}05$) указывает на наличие тесной связи между вышеуказанными показателями.

Доля его легкоподвижных фракций, десорбирующихся водой и растворами ацетата аммония (pH 7 и 5 последовательно), в подзолистой почве была значительнее, в основном за счет фракции «карбонаты». Её средний парциальный вклад в валовое содержание радиоактивного элемента составлял 20,6%, в аллювиально-дерновой почве – 3,7%. Маловероятно, особенно с учетом слабокислого-слабощелочного водородного показателя подзолистой почвы и её насыщенности обменными формами элементов щелочноземельной группы [3, 5], что уран соосаждается и непосредственно связывается карбонатами макроэлементов. Скорее всего, он включается в структуры глинистых минералов, которые в кислых средах могут быть частично дестабилизированы, но сохраняют способность активно участвовать в процессах ионного обмена. Возможно соосаждение урана с фосфатами кальция, имеющими более низкую растворимость (ПР $Ca_3(PO_4)_2 = 2\times10^{-58}$, ПР $Ca_3(PO_4)OH = 2\times10^{-29}$, ПР $CaCO_3 = 2\times10^{-9}$) и большую устойчивость при кислых средах, чем карбонаты [6, 7]. Судя по среднему содержанию радиоактивного элемента во фракции, выделенной обработкой почвенных образцов перекисью водорода (подзолистая почва – 18,6, аллювиально-дерновая – 16,3 %), сильное влияние на геохимическую подвижность урана оказывали природные органические соединения, что подтверждает известные закономерности [8].

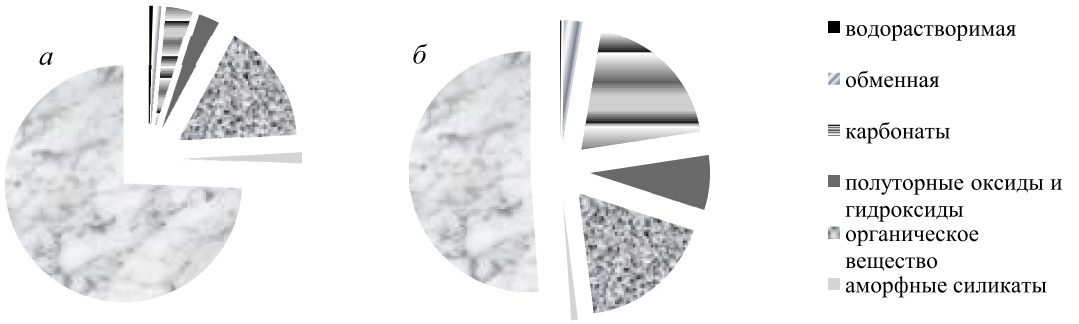


Рис. 1. Доли форм нахождения урана в аллювиально-дерновой (а) и подзолистой (б) почвах (%, в среднем от валового содержания элемента)

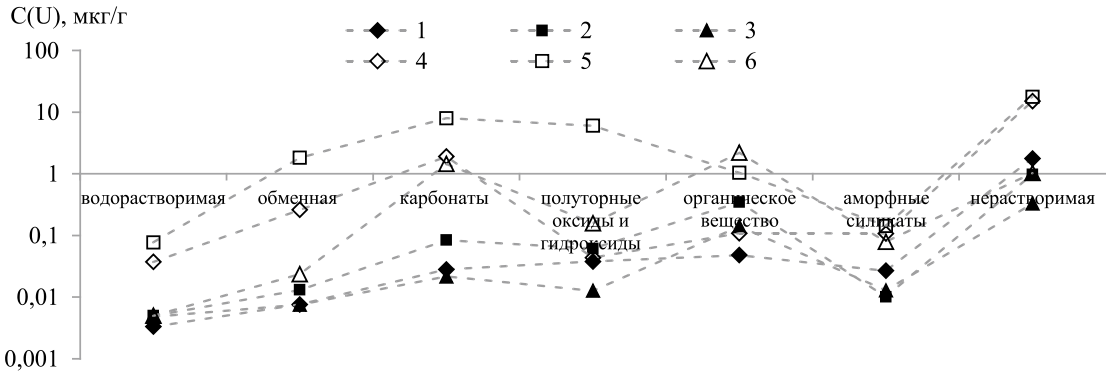


Рис. 2. Содержание различных форм нахождения U в образцах аллювиально-дерновой (1–3) и подзолистой (4–6) почв, загрязненных отходами производства радия

Таблица 2

Содержание урана в поверхностных водах и донных осадках

Номер образца	Описание места отбора	Валовое содержание урана*	
		вода, мкг/дм^3	донные отложения, мкг/г
1	Участок с аллювиально-дерновой почвой, мелиоративная сеть	0,13 ± 0,03	1,14 ± 0,24
2	Участок с подзолистой почвой, мелиоративная сеть	0,37 ± 0,05	нет данных
3	Р. Ухта ниже стока мелиоративной сети участка с аллювиально-дерновой почвой	0,13 ± 0,06	0,42 ± 0,07
4	Р. Ухта на 150 м выше стоков участка с аллювиально-дерновой почвой	0,15 ± 0,02	0,41 ± 0,08
5	15 км акватория в зоне влияния бывших объектов промысла	0,12 ± 0,02	0,41 ± 0,08
6	Р. Ухта выше зоны влияния бывших объектов промысла	0,10 ± 0,05	0,45 ± 0,07

Примечание: *среднее и среднеквадратичное отклонение; в каждом случае количество образцов не менее 4.

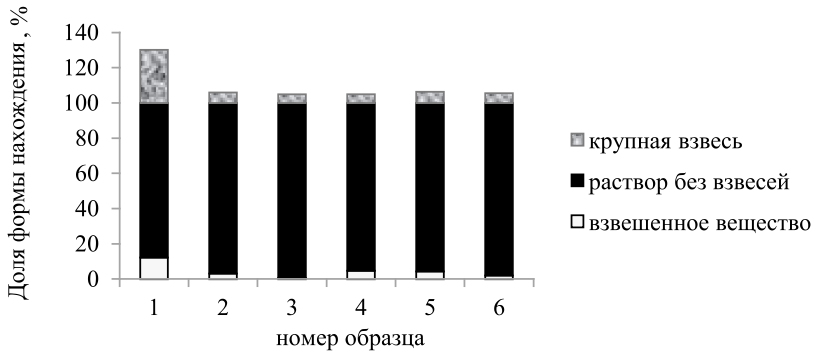


Рис. 3. Формы нахождения урана в поверхностных водах (% от валового содержания)

При значительной доле экстрагируемого урана (около 40% в подзолистой и 20% в аллювиально-дерновой почве) интенсивность его рассеяния с поверхностными водами загрязненных участков в гидрографическую сеть невелика (табл. 2), поскольку содержания радиоактивного элемента и в водах, и в донных отложениях р. Ухта в зоне влияния промысла достоверно не отличаются от соответствующих фоновых показателей. Однако в пределах участков загрязнения горизонтальная миграция урана, сопровождающаяся размыванием границ зон с высокой и низкой концентрацией урана в почве, отмечается. Об этом свидетельствуют сравнительно высокие концентрации радиоактивного элемента в воде мелиоративной сети участка с подзолистой почвой (образец 2) и повышенное содержание урана в донных отложениях на лугу с аллювиально-дерновой почвой (образец 1).

Исследование форм нахождения урана в водах (рис. 3) показало, что он преимущественно мигрирует с растворимой компонентой исследованных поверхностных вод. Транспорт радиоактивного элемента со взвешенным веществом имеет подчиненный характер (до 15%) и зависит от pH вод (–0,80) и концентрации ионов железа в них (0,96). Крупной взвесью переносится дополнительно менее 30% валового содержания урана.

Наибольшая доля урана во взвесях была свойственна водам мелиоративной сети участка с аллювиально-дерновой почвой (образец 1), чем объясняются высокие концентрации урана в сопряженных донных отложениях (табл. 2). Несмотря на наблюдающееся отличие в содержании радиоактивного элемента, его долевое распределение между разными формами нахождения в донных отложениях сходно для образцов из речной акватории и мелиоративной сети участка с загрязненной аллювиально-дерновой почвой (рис. 4). Для всех илов характерно, что доля неэкстрагируемого урана среди всех форм нахождения наибольшая. Она варьируется от 74 до 85% валового содержания радиоактивного элемента в отложениях.

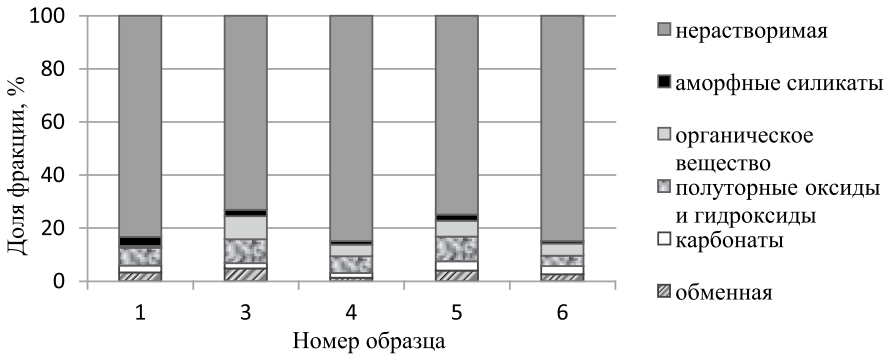


Рис. 4. Формы нахождения урана в донных отложениях (% от валового содержания)

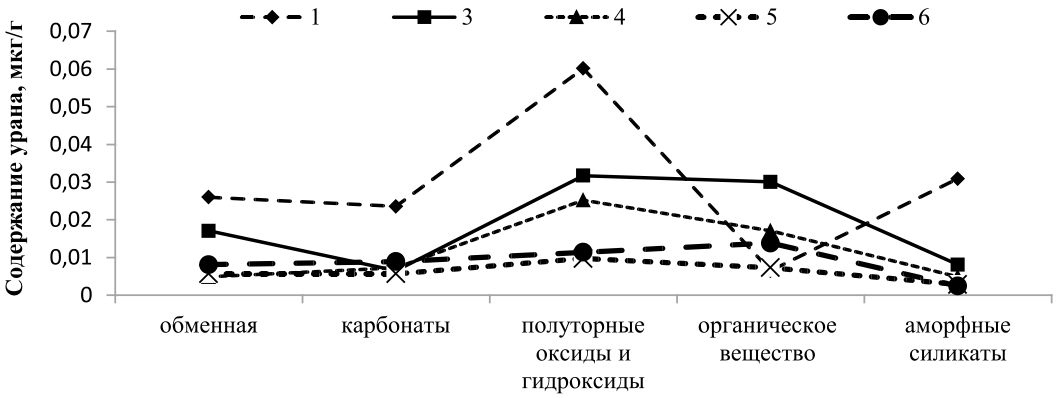


Рис. 5. Подвижные формы нахождения урана в донных отложениях (образцы 1, 3–6)

При сопоставлении концентраций урана в подвижных формах нахождения среди донных отложений импактной, фоновой частей реки и мелиоративной системы радиоактивно загрязненной территории можно наблюдать заметные отличия (рис. 5). Так, в фоновых илах концентрации урана в разных группах соединений близки между собой с небольшим преимуществом фракции «органическое вещество». В речных донных отложениях зоны влияния территории радиоактивного загрязнения максимальные концентрации имеет уран фракций «полуторные оксиды и гидроксиды» и «органическое вещество».

В свою очередь, для донных отложений мелиоративной системы на участке с аллювиально-дерновой почвой (образец 1) характерно концентрирование урана в составе фракций «полуторные оксиды и гидроксиды», что хорошо увязывается с пойменным типом территории, характеризующимся привносом паводковыми водами условно «чистых» от радионуклидов взвесей, содержащих гидроксиды железа и марганца. Небольшое повышение концентрации урана выявлено во фракции «аморфные силикаты», выделенной из этой пробы. В речном иле в устье стока из этой дренажной сети (образец 3) сброс растворенного урана происходит путем его ассоциации с органическим веществом, что обнаруживается по увеличению содержания радиоактивного элемента в соответствующей фракции.

Заключение

Интенсивность рассеяния и вторичного концентрирования урана в природных комплексах зоны влияния территорий, радиоактивное загрязнение которых обусловлено промышленной деятельностью, зависит от форм нахождения радиоактивного элемента в окружающей среде. На основе их исследования методом фильтрации поверхностных вод, химического фракционирования почв и донных отложений из района нефункционирующего предприятия по добыче радия из подземных вод можно подытожить следующее:

1. Основная доля урана в загрязненных аллювиально-дерновой и подзолистой по-

чвах района находится в малоподвижной фракции «нерастворимая», что определяет низкую интенсивность рассеяния элемента с поверхностными водами и его слабое концентрирование в донных отложениях исследуемой акватории. Минимальное содержание урана выявлено во фракциях «водорастворимая», «обменная» и «аморфные силикаты». Большое влияние на геохимическую подвижность урана оказывают природные органические соединения, что отмечается по высокому содержанию элемента во фракции «органическое вещество» (подзолистая почва – 18,6, аллювиально-дерновая – 16,3 % от валовой концентрации).

2. Содержания радиоактивного элемента в поверхностных водах и донных отложениях речной системы в зоне влияния промысла не отличаются от фоновых показателей. На участках загрязнения отмечена горизонтальная миграция урана, о чем свидетельствуют его высокие концентрации в воде и донных отложениях мелиоративных сетей.

3. Вне зависимости от места пробоотбора уран преимущественно мигрирует с растворимой компонентой природных поверхностных вод. Его транспорт со взвешенным веществом имеет подчиненный характер (до 15 %) и зависит от pH (–0,80) и концентрации ионов железа в водах (0,96). Крупной взвесью переносится дополнительно менее 30 % урана.

4. Для всех донных отложений (речных и на участке с аллювиально-дерновой почвой) характерно преобладание неэкстрагируемого урана (от 74 до 85 % валового содержания). В фоновых илах концентрации урана в подвижных формах нахождения близки между собой, в речных донных отложениях зоны влияния радиоактивного загрязнения максимальные содержания имеет уран фракций «полуторные оксиды и гидроксиды» и «органическое вещество».

Работа выполнена в рамках Госзадания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № ГР АААА-А18-118011190102-7.

Список литературы / References

1. Bondareva L. The relationship of mineral and geochemical composition to artificial radionuclide partitioning in Yenisei River sediments downstream from Krasnoyarsk. Environmental Monitoring and Assessment. 2012. Vol. 184. № 6. P. 3831–3847. DOI: 10.1007/s10661-011-2227-z.

2. Добролюбская Т.С. Люминесцентный метод // Аналитическая химия урана. М.: Наука, 1962. С. 143–165.

Dobrolubskaja T.S. Luminescent method // Analytical chemistry of uranium. M.: Nauka, 1962. P. 143–165 (in Russian).

3. Рачкова Н.Г., Шапошникова Л.М. Аккумуляция урана и радия-226 водными и наземными мхами в зоне влияния бывших объектов по добыче радия // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 3. [Электронный ресурс]. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=26468 (дата обращения: 24.09.2019).

Rachkova N.G., Shaposhnikova L.M. Uranium and radium-226 accumulation by aquatic and terrestrial mosses in impact zone of the former radium production objects // Modern problems of science and education. 2017. № 3. [Electronic resource]. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=26468 (date of access: 24.09.2019) (in Russian).

4. Шапошникова Л.М., Шуктомова И.И. Особенности распределения урана, тория и радия в профиле техноподзолистой почвы // Успехи современного естествознания. 2016. № 6. С. 48–52.

Shaposhnikova L.M., Shuktomova I.I. Distribution of uranium, thorium and radium in the profile of technogenic podzolic // Advances in current natural sciences. 2016. № 6. P. 48–52 (in Russian).

5. Носкова Л.М. Динамика миграции урана, радия и тория в компонентах экосистем, нарушенных в результате радиевого производства: дис. … канд. биол. наук. Сыктывкар, 2010. 166 с.

Noskova L.M. The migration dynamics of uranium, radium and thorium in the components of ecosystems disturbed as a result of radium production: dis. … kand. biol. nauk. Syktyvkar, 2010. 166 p. (in Russian).

6. Newsome L., Morris K., Lloyd J.R. The biochemistry and bioremediation of uranium and other priority radionuclides. Chemical geology. 2014. Vol. 363. P. 164–184. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2013.10.034.

7. Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.И. Сорбционные процессы при загрязнении подземных вод тяжёлыми металлами и радиоактивными элементами. Уран // Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. 2014. № 103. С. 1–127.

Putilina V.S., Galitskaya I.V., Yuganova T.I. Sorption processes in contamination of groundwater with heavy metals and radioactive elements. Uranium // Ecology. A series of analytical reviews of world literature. 2014. № 103. P. 1–127 (in Russian).

8. Bednar A.J., Medina V.F., Ulmer-Scholle D.S., Frey B.A., Johnson B.L., Brostoff W.N., Larson S.L. Effects of organic matter on the distribution of uranium in soil and plant matrices. Chemosphere. 2007. Vol. 70. № 2. P. 237–247. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2007.06.032.

УДК 911.9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОВОКУПНОСТИ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ УСЛОВИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОГО КЛАСТЕРА С ПОЗИЦИИ РЕСУРСНОГО ТУРИСТСКОГО ПОТЕНЦИАЛА: ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ И ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНЫЙ АСПЕКТЫ

Сухов Р.И.

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

Реализация кластерного подхода к развитию внутреннего туризма в Российской Федерации требует определения факторов, влияющих на создание и функционирование туристско-рекреационного кластера. Существующие методики оценки ресурсного потенциала территории не могут дать его комплексную характеристику и сценарий развития, так как ориентированы на макрорегионы и не интегрированы в комплексную оценку ресурсного потенциала территории. Для понимания существующих в России методологий и методик оценки ресурсного туристского потенциала представлен их краткий обзор. Проанализированные в статье факторы географического и историко-культурного характера представлены в контексте модели интегрального показателя оценки туристского потенциала и являются неотъемлемой частью факторов системы «Туристский потенциал территории». Туристские ресурсы представлены двумя факторами: природно-климатическими ресурсами и историко-культурным наследием. Каждый из этих факторов состоит из показателей (сохранность и рациональное использование природных ресурсов, качество водных ресурсов, длительность пляжного сезона, сохранность и рациональное использование историко-культурных ресурсов, доступность), многоуровневое содержание которых раскрывается в виде методик их оценки или описательных характеристик. Отдельно рассматриваются два фактора внешнего характера, состоящие из блоков базовых показателей с учетом проведенного многоуровневого ранжирования: географическое положение и геополитика территории (близость к регионам, генерирующим туристов, транспортная доступность территории, безопасность туристской дестинации) и экологическая ситуация (состояние водной среды и атмосферного воздуха). В совокупности эти показатели могут дать туристско-рекреационному кластеру несколько важных характеристик: о его специализации, рекреационной ёмкости, транспортной доступности и обеспеченности, формировании входящих туристских потоков, экологических рисках.

Ключевые слова: туристско-рекреационный кластер, ресурсный туристский потенциал, природно-климатические ресурсы, историко-культурное наследие, внутренний туризм, туристские ресурсы

DETERMINATION OF THE COMPLEX OF FACTORS DEFINING THE CONDITIONS FOR CREATION AND FUNCTIONING OF THE TOURIST AND RECREATIONAL CLUSTER FROM THE POSITION OF THE RESOURCE TOURIST POTENTIAL: GEOGRAPHICAL AND HISTORICAL AND CULTURAL ASPECTS

Sukhov R.I.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Southern Federal University», Rostov-on-Don, e-mail: ris@sfedu.ru

The implementation of the cluster approach to the development of domestic tourism in the Russian Federation requires the identification of factors affecting the creation and functioning of the tourist and recreational cluster. The existing methods of evaluation of the territory resource potential can not give its overall characteristics and development scenario, as they are focused on macro-regions and are not integrated into a comprehensive assessment of the resource potential of the area. To understand the existing Russian methodologies and techniques for estimation of the resource tourist potential, a brief overview is presented. The factors of geographical and historical and cultural character analyzed in the article are presented in the context of the model of integral index of tourist potential assessment and are an integral part of the factors of the system «Tourist potential of the territory». Tourist resources are represented by two factors: natural and climate resources and historical and cultural heritage. Each of these factors consists of indicators (preservation and rational use of natural resources, the quality of water resources, duration of the beach season, preservation and rational use of historical and cultural resources, availability), the multilevel content of which is disclosed in the form of methods of their evaluation or their descriptive characteristics. We separately consider external factors, consisting of blocks of basic indicators taking into account the conducted multi-level ranking: geographical position and geopolitics of the area (proximity to regions that generate tourists, transport accessibility, security of tourist destinations) and ecological situation (water environment condition, air quality). Together, these indicators can give the tourist and recreational cluster several important characteristics about its specialization, recreational capacity, transport accessibility and security, formation of incoming tourist flows, ecological risks.

Keywords: tourist and recreational cluster, resource tourist potential, climate and natural resources, historical and cultural heritage, domestic tourism, tourist resources

В настоящее время в Российской Федерации при определении стратегических ориентиров развития сферы туризма декларируется использование кластерного подхода. Это закреплено в Концепции федеральной целевой программы «Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации (2019–2025 г.)». Для формирования но-

вых проектов были предложены методические рекомендации по составлению сводного плана инвестиционного проекта по созданию туристского кластера. В этом документе содержатся требования к изложению маркетинговой стратегии развития и концепции проекта, определению количественных прогнозных показателей результатов осуществления проекта, плану создания инвестиционного проекта, финансово-экономическому обоснованию инвестиционного проекта [1]. Однако в методических рекомендациях не были затронуты требования к ресурсному обеспечению проекта. Фундаментом любого туристско-рекреационного кластера являются его природный и историко-культурный потенциал, а также ряд внешних факторов, влияющих на его формирование. При этом общепризнанной комплексной методики оценки ресурсного потенциала туристского кластера не существует.

Цель исследования: дать характеристику ресурсным факторам естественнонаучного и историко-культурного генезиса, определяющим условия создания и функционирования туристско-рекреационного кластера.

Материалы и методы исследования

Материалами для исследований послужили публикации советских и российских ученых, занимающихся изучением природных и историко-культурных туристских ресурсов, а также методик оценки туристского ресурсного потенциала. Методы исследования: логический, сравнительный, структурный анализ, синтез, классификация, экспертный.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ существующих методик оценки ресурсного потенциала. В настоящее время в России некоторые высшие учебные заведения, в которых осуществляется учебная и научна-исследовательская деятельность в сфере туризма при характеристике туристских ресурсов своих «домашних» регионов используют собственные методики оценки ресурсного потенциала. Как правило, эти методики ориентированы на описание макрорегионов или более мелких административных образований на уровне районов области или края.

В Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова этими вопросами занимаются на кафедре рекреационной географии и туризма географического факультета. Н.И. Тульская и Н.В. Шабалина представили методику, основанную на анализе множества количественных и качественных характеристик с использованием математико-картографического моделирования. В результате таких исследований можно получить интегральный показатель, характеризующий уровень развития туризма и рекреации [2].

В Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова была предложена методика интегральной оценки туристско-рекреационного потенциала для целей территориального планирования. В результате применения этой методики возможно построение интегральной карты туристско-рекреационного потенциала территории с разграничением на зоны развития туризма в соответствии с природно-ресурсным, культурно-историческим и социально-экономическим потенциалом территории (тематическими разделами). Для каждого раздела авторами были предложены абсолютные (первичные) и относительные (вторичные) показатели, которые вычисляются, обрабатываются и сохраняются в ГИС [3].

В Бийском технологическом институте для комплексной оценки туристско-рекреационного потенциала территории предложили использовать метод групповых экспертных оценок с заполнением анкет. Эксперты туристской отрасли оценивали такие факторы, как туристские ресурсы, институциональные ресурсы, трудовые ресурсы, смежные отрасли [4].

В отличие от существующих методик оценки туристского потенциала территорий создание и функционирование туристско-рекреационного кластера предполагает тесное взаимодействие групп элементов, объединенных в условные классы: туристские ресурсы, туристскую инфраструктуру, обеспечивающую инфраструктуру. В каждом туристско-рекреационном кластере существует доминанта, которая обуславливает активность туристов и объем туристских потоков. В качестве доминант, как правило, выступает один или несколько объектов, относящихся к туристским ресурсам [5].

Важной отличительной характеристикой туристско-рекреационного кластера является определение его границ. Исходя из описания инвестиционных проектов, включенных в Федеральную целевую программу «Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации (2019–2025)», мы можем говорить об относительно небольших территориях и микроуровне организации кластера, подразумевающей взаимообусловленность всех трех классов и групп элементов, входящих в них.

Таблица 1

Раскрытие системы V0 «Туристский потенциал территории», обусловленной факторами внутреннего характера (Туристские ресурсы) [6]

Факторы	Показатели
Туристские ресурсы (V02)	
– природно-климатические ресурсы (v_{021})	– уровень сохранности и рационального использования природных ресурсов – уровень качества водных ресурсов – длительность пляжного сезона
– историко-культурное наследие (v_{022})	– уровень сохранности и рационального использования историко-культурных ресурсов – уровень доступности

Таблица 2

Блоки показателей, используемых для когнитивной структуризации знаний о состоянии внешней среды туристско-рекреационного комплекса территории [7]

Факторы внешнего характера	Блоки базовых показателей с учетом проведенного многоуровневого ранжирования
Географическое положение и геополитика территории (V3)	– близость территории к регионам, генерирующим туристов – транспортная доступность территории – уровень безопасности туристской дестинации
Экологическая ситуация (экологические риски) (V5)	– состояние водной среды (уровень загрязнения водной среды) – состояние атмосферного воздуха (уровень загрязнения атмосферы)

Поэтому в качестве методологической базы настоящего исследования выступила разрабатываемая в Южном федеральном университете модель интегрального показателя оценки туристского потенциала с позиции применения кластерного подхода к развитию туризма и предложенная в ее рамках система «Туристский потенциал территории», обусловленная факторами внутреннего характера, которую невозможно представить только в виде традиционных формальных количественных показателей [6]. Из этой системы для анализа были взяты факторы и показатели подсистемы «туристские ресурсы», относящиеся к географическим и историко-культурным аспектам (табл. 1), а также блоки показателей, используемых для когнитивной структуризации знаний о состоянии внешней среды туристско-рекреационного комплекса территории [7] (табл. 2). Рассмотрим эти факторы и показатели более подробно.

Уровень сохранности и рационального использования природных ресурсов. Напрямую сопряжен с туристско-рекреационным природопользованием, которое подразумевает оптимальное использование природных ресурсов в туристско-рекреационных целях. К природным ресурсам принято относить природно-территориальные и аквальные комплексы. Они, в свою очередь, состоят из отдельных компонентов и характеризуются свойствами: аттрактивностью, контрастностью и ритмом ландшафтов, возможностью преодоления препятствий, географической спецификой, экзотичностью, уникальностью, размерами и формами природных объектов, их визуально-географическим положением.

Выделяют три основных типа рекреационного землепользования: территории с высокой интенсивностью рекреации; территории со средней интенсивностью рекреации, выполняющие одновременно некоторые экологические и производственные функции; территории с незначительным удельным весом рекреации [8].

Природный комплекс территорий всех уровней, в том числе туристского кластера, может быть также охарактеризован следующими параметрами: площадью, ёмкостью, нагрузкой. Последний параметр с точки зрения рационального использования природных ресурсов особо важен, так как определяет предельно допустимые нормы рекреационных нагрузок для каждого типа ландшафта.

В соответствии с принятой в рекреационной географии типологии оценки природных ресурсов выделяется медико-биологический тип ресурсов, который отображает влияние природных факторов на организм человека. Главную роль здесь играет климат, а ведущими научными направлениями являются климатология и курортология. Эти науки предлагают методы оценки кли-

матических ресурсов для туризма. В настоящее время используется система условных температур – комплексное воздействие температуры воздуха, относительной влажности, скорости ветра и солнечной радиации. С учением об условных температурах связано представление о «зоне комфорта» туристов. Также для оценки погодно-климатических природных ресурсов в туризме может быть использован метод комплексной климатологии, который включает влияние всех метеоэлементов на организм человека.

Рациональное использование природных ресурсов имеет ключевое значение для территорий, ориентированных на лечебно-оздоровительный туризм, в частности бальнеологию, к которой относят водолечение и грязелечение. Для правильного определения специализации туристско-рекреационного кластера и его пропускной способности необходимо знать физико-химические свойства минеральных вод и грязей, их специфическое воздействие на организм, постоянство и объемы дебита минеральной воды, наличие и возможности строительства каптажных сооружений, термические, химические и механические факторы действия лечебных грязей, мощности и особенности их месторождений.

В специфических условиях осуществляется организация туристской деятельности в особо охраняемых природных территориях (ООПТ). Условно она подразделяется на три направления: ограниченное, расширенное, компромиссное.

К ограниченным условиям деятельности относят заказники и заповедники, которые имеют особые режимы для посещения туристами. Считается, что развитие туризма здесь практически невозможно, поскольку эти объекты выполняют свои основные функции: природоохранную и научную. К расширенным условиям относятся национальные парки, ориентированные на экологический туризм. В рамках компромиссных условий ООПТ выполняет как природоохранную, так и туристско-рекреационную функции, но последняя должна быть строго регламентированной и привязанной к определенным зонам [9].

Уровень качества водных ресурсов. Включает оценку водных угодий для купания и пляжной зоны. Методика оценки угодий для купания была разработана Институтом географии АН СССР для средней полосы Европейской части России еще в 1980-е гг. Она включала следующие параметры: ширину зоны мелководья, литологию донного грунта в зоне мелководья, число летних дней с температурой воды в пределах 18–22 °С, скорость течения, площадь водной прибрежной растительности на 100 м периметра воды [8]. В зависимости от географического расположения и типа водоема характеристики этих показателей могут быть откорректированы. Достаточно подробно требования к пляжам изложены в ГОСТ Р 55698-2013 Туристские услуги. Услуги пляжей. Общие требования. Согласно этому документу, пляжи подразделяются: по акватории, типу береговой зоны, механическому составу пляжного материала, принадлежности (форме собственности), местонахождению, функциональному назначению, близости расположения к средствам размещения, вместимости, степени благоустроенности.

К рекреационным зонам водных объектов в целом предъявляются следующие требования: качество воды и санитарное состояние территории должны соответствовать стандартам; должно быть наличие или возможность устройства удобных и безопасных подходов к воде; необходимы подъездные пути в зону рекреации; рельеф дна должен быть безопасным; гидравлический режим должен предполагать отсутствие водоворотов, течений со скоростью более 0,5 м/с, резких колебаний уровня воды; должны отсутствовать неблагоприятные и опасные природные процессы [10].

Длительность пляжного сезона. Зависит от ряда климатических и гидрологических характеристик и является комплексным понятием. Самый важный показатель – температура воды. Наиболее комфортными для здоровых и закаленных людей считаются температуры в интервале 20–26 °С. Температурой воды обусловлены рекомендации по продолжительности купания. При температуре 18 °С она составляет до 6–8 минут, 20 °С – до 12 минут, выше 20 °С – до 15 минут. В комплексе с показателем температуры воды выступает температура воздуха окружающей среды. Ее минимальные показатели должны составлять 21–22 °С.

Другие показатели, определяющие продолжительность купально-пляжного сезона, носят ограничительный характер. Не рекомендуется купаться при волнении акватории более 3 баллов, в дождливую погоду. В соответствии с этими показателями, для каждого региона можно рассчитать продолжительность купально-пляжного сезона и количество дней, когда имеются неблагоприятные для купания условия.

Уровень сохранности и рационального использования историко-культурных ресурсов, уровень доступности. Историко-культурные ресурсы включают объекты материального и духовного происхождения. К ним принято причислять объекты, которые научными методами исследованы и оценены как имеющие общественное значение и могут быть использованы при существующих технических и материальных возможностях. Среди культурно-исторических объектов ведущая роль принадлежит памятникам истории и культуры, которые отличаются наибольшей привлекательностью.

В зависимости от основных признаков памятники истории и культуры подразделяются на пять основных видов: истории, археологии, градостроительства и архитектуры, искусства, документальные памятники [8].

Для понимания значимости объектов историко-культурного наследия необходимо знать, насколько они привлекательны для туристов. С этой точки зрения объекты можно подразделять на уровни государственного (федерального), регионального значения и выявленные объекты культурного наследия [11]. Наивысшим уровнем привлекательности можно считать объекты, внесенные в Список Всемирного наследия ЮНЕСКО. В Российской Федерации из 29 объектов, занесенных в этот список, 18 относятся к культурному, 11 – к природному наследию [12].

Близость территории к регионам, генерирующим туристов. Специфика формирования и распределения внутренних туристских потоков в Российской Федерации в настоящее время слабо представлена в научной литературе. В основном это результаты социологических или маркетинговых исследований среди населения или работников туристской индустрии. Также для анализа доступны статистические данные, позволяющие увидеть из каких регионов прибывают туристы и с какими целями. Как правило, формирование внутреннего выездного турпотока происходит под воздействием таких факторов, как специализация региона, генерирующего турпоток в разделении труда, экологическая обстановка, уровень доходов населения, наличие свободного времени, культурно-образовательный уровень населения. Немаловажным является фактор транспортного сообщения между регионами. Учитывая размеры России, на первое место по значимости можно поставить авиационный транспорт. При его характеристике важны такие показатели, как наличие аэропортов, их пропускная способность, маршрутная сеть чартерных и регулярных внутрироссийских перевозок, стоимость перевозки. Роль железнодорожного и автомобильного транспорта будет определяющей только в том случае, если переезд между регионом-поставщиком и туристским кластером не будет превышать 16 ч. Водный транспорт в России в настоящее время развит на недостаточном уровне, чтобы принимать его во внимание для оценки значимости для перевозки туристов.

Транспортная доступность территории. Для оценки транспортной доступности регионов используется ряд методик и показателей. Среди них наиболее результативными являются густота транспортной сети территории (при расчете на 100 км^2); транспортная обеспеченность территории (при расчете на 10 тыс. чел. населения); обобщенный показатель – формула Энгеля (характеризуется соотношением протяженности сети в километрах к площади ареала в сотнях квадратных километров и населением ареала в десятках тысяч человек) [13]. Для практической деятельности важны такие характеристики, как удаленность туристского кластера от транспортного узла, принимающего туристов (например, аэропорта), наличие и качество транспорта, используемого для организации трансферов, трафик на дорогах, а также качество автомобильных дорог.

Уровень безопасности туристской дестинации. Безопасность в туризме можно подразделить на три вида: экономическую, социальную, экологическую. К экономической безопасности по отношению к развитию туристского кластера можно отнести вопросы применения механизмов поддержки бизнеса при реализации инвестиционных проектов, принципов государственно-частного партнерства, повышения привлекательности туристской отрасли как объекта для частных инвестиций. С точки зрения потребителей туристского продукта важным аспектом является выявление и предотвращение мошеннических схем в предоставлении туристских услуг. Социальная безопасность подразумевает отслеживание уровня преступности в регионе, разработку инструментов ее снижения, а также мероприятия, направленные непосредственно на защиту туристов. К экологической безопасности можно отнести меры по улучшению экологической обстановки в регионе, наличие региональных программ по сокращению загрязнения атмосферного

воздуха, строительство очистных сооружений, минимализацию работ, влекущих за собой изменение ландшафтов.

Также следует выделить безопасность непосредственно туристской инфраструктуры. В частности, транспортных перевозок, организацию пропускного, противопожарного режимов, систем связи, наблюдения, оповещения, интегрированные системы безопасности.

Состояние водной среды (уровень загрязнения водной среды). Состав и свойства воды территорий, относящихся к ресурсам купально-пляжного туризма, характеризуются следующими показателями: плавающие примеси; посторонний запах, привкусы (за исключением морской воды), окраска, растворенный кислород, биохимическая потребность в кислороде, токсические химические вещества (исключая солевой состав морской воды), число лактозоположительных кишечных палочек (ЛКП) в 1 дм^3. Контроль качества водных объектов осуществляется ежегодно перед началом купального сезона на расстоянии 1 км вверх по течению от зоны купания на водотоках и на расстоянии 0,1–1,0 км в обе стороны от нее на водоемах и в море, а также в границах зоны купания; в период купального сезона не менее чем в двух точках, выбранных в соответствии с характером, протяженностью и интенсивностью использования зоны купания [10].

Состояние атмосферного воздуха (уровень загрязнения атмосферы). Специальных методик и показателей, характеризующих состояние атмосферного отдыха в туристских местностях не существует. При планировании организации туристско-рекреационных кластеров необходимо руководствоваться санитарными правилами «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест СанПиН 2.1.6.1032-01». Качество атмосферного воздуха обусловлено гигиеническими нормативами – предельно допустимыми концентрациями (ПДК) атмосферных загрязнений химическими и биологическими веществами, соблюдение которых обеспечивает отсутствие прямого или косвенного влияния на здоровье населения и условия его проживания. В местах массового отдыха населения должны соблюдаться ПДК с коэффициентом 0,8. К местам массового отдыха населения относят территории, выделенные для организации курортных зон, размещения санаториев, домов отдыха, пансионатов, баз туризма, дачных и садово-огородных участков, организованного отдыха населения (городские пляжи, парки, спортивные базы и их сооружения на открытом воздухе).

Заключение

Существующие методики оценки ресурсного потенциала территорий позволяют дать характеристику на уровне макрорегионов. Это можно объяснить преемственностью методик и исследовательских масштабов у рекреационной географии.

Отдельные научные исследования, характеризующие туристские кластеры, посвящены в основном либо экономическим, либо географическим аспектам. Комплексные исследования проводятся крайне редко, их результаты публикуются главным образом в виде статей в журналах или сборниках трудов научных конференций.

Поэтому предложенная авторским коллективом специалистов Южного федерального университета модель интегрального показателя оценки туристского потенциала позволяет проводить комплексную оценку факторов внутренней и внешней среды для создания и функционирования туристско-рекреационного кластера с позиции ресурсного туристского потенциала.

Из содержания раскрытых в настоящем исследовании показателей природно-климатических и историко-культурных факторов можно делать выводы о специализации туристско-рекреационных кластеров, их рекреационных ёмкостях. Факторы внешнего характера и их показатели позволяют анализировать транспортную инфраструктуру и доступность кластера, характеризовать входящие турпотоки, экологические риски.

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. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 5 мая 2018 г. № 872-р «Об утверждении Концепции федеральной целевой программы «Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации (2019–2025 годы). Федеральное агентство по туризму. [Электронный ресурс]. URL: https://www.russiatourism.ru/contents/deyatelnost/programmy-i-proekty/federalnaya-tselevaya-programma-razvitie-vnutrennego-i-vezdnogo-turizma-v-rossiyskoy-federatsii-2019-2025-gody-/ (дата обращения: 10.09.2019).

The Order of the Government of the Russian Federation of the 5th of May, 2018 No. 872 – r «About the Approval of the Concept of the Federal Target Program «Development of

Internal and Entrance Tourism in the Russian Federation (2019-2025). Federal Agency for Tourism. [Electronic resource]. URL: https://www.russiatourism.ru/contents/deyatelnost/programmy-i-proekty/federalnaya-tselevaya-programma-razvitie-vnutrennego-i-vezdnogo-turizma-v-rossiyskoy-federatsii-2019-2025-gody-/ (date of access: 10.09.2019) (in Russian).

2. Тульская Н.И., Шабалина Н.В. Математико-картографическое моделирование для оценки туристско-рекреационного потенциала территории (на примере Центрального федерального округа) // Картография и геоинформатика в исследованиях изменений природной среды и общества, посвященной 80-летию кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ: материалы Всероссийской научно-практической конференции. [Электронный ресурс]. URL: http://www.geogr.msu.ru/cafedra/karta/anniversary/docs/tulskaya.pdf (дата обращения: 10.09.2019).

Tulskaya N.I., Shabalina N.V. Mathematical and Cartographic Modeling for the Estimation of Tourist and Recreational Potential of the Territory (on the example of the Central Federal District) // Cartography and Geoinformatics in Research of Changes in Natural Environment and Society, Dedicated to the 80th Anniversary of the Department of Cartography and Geoinformatics, Geographical Faculty, Moscow State University: Materials of All-Russian Scientific and Practical Conference. [Electronic resource]. URL: http://www.geogr.msu.ru/cafedra/karta/anniversary/docs/tulskaya.pdf (date of access: 10.09.2019) (in Russian).

3. Дунец А.Н., Крупочкин Е.П., Тельцова А.А. Оценка туристско-рекреационного потенциала для целей территориального планирования // Известия Алтайского государственного университета. 2011. № 3–2 (71). С. 108–113.

Dunets A.N., Krupochkin E.P., Teltsova A.A. Estimation of Tourist and Recreational Potential for the Purposes of Territorial Planning // Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta. 2011. № 3–2 (71). P. 108–113 (in Russian).

4. Дзюина Г.М., Бавыкина Е.Н. Туристско-рекреационный потенциал территории // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2015. № Т. 13. С. 3146–3150. [Электронный ресурс]. URL: https://elibrary.ru/contents.asp?id=34075611-/ (дата обращения: 13.08.2019).

Dzyuina G.M., Bavykina E.N. Tourist and Recreational Potential of the Territory // Scientific and methodical electronic journal «Concept». 2015. V. 13. P. 3146–3150. [Electronic resource]. URL: https://elibrary.ru/contents.asp?id=34075611-/ (date of access: 13.08.2019) (in Russian).

5. Сухов Р.И. Формирование туристских кластеров в России: учебное пособие. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2018. 176 с.

Sukhov R.I. Formation of Tourist Clusters in Russia: textbook. Rostov-na-Donu: Izdatel'stvo Yuzhnogo federal'nogo universiteta, 2018. 176 p. (in Russian).

6. 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: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5274 (дата обращения: 13.08.2019).

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 // Engineering journal of Don. 2018. № 4 (51). [Electronic resource]. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5274 (date of access: 13.08.2019). (in Russian).

7. Жертовская Е.В., Якименко М.В. Оценка интегрального показателя неравномерности и асимметрии развития российских территорий с точки зрения перспектив появления туристско-рекреационных кластеров (на примере муниципальных образований Краснодарского края) // Экономика устойчивого развития. 2018. № 4 (36). С. 175–181.

Zhertovskaya E.V., Yakimenko M.V. Estimation of the Integral Indicator of the Irregularity and Asymmetry of Development of the Russian Territories from the Point of View of the Prospects for the Emergence of the Tourist and Recreational Clusters (by the example of the municipal formations of Krasnodar region) // Economics of sustainable development. 2018. № 4 (36). P. 175–181 (in Russian).

8. Мироненко Н.С., Твердохлебов И.Т. Рекреационная география. М.: Изд. Московского университета, 1981. 207 с.

Mironenko N.S., Tverdokhlebov I.T. Recreational Geography. M.: Izd. Moskovskogo universtiteta. 1981. 207 p. (in Russian).

9. Воронина А.Б. Использование ООПТ в туризме: Крымский опыт // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2019. Т. 5 (15). № 1. С. 89–110.

Voronina A.B. Use of Specially Protected Natural Areas in Tourism: Crimean Experience // Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions. 2019. V. 5 (15). № 1. P. 89–110 (in Russian).

10. ГОСТ 17.1.5.02-80. Гигиенические требования к зонам рекреации водных объектов. М.: Изд-во стандартов, 1981. 6 с.

11. Федеральный Закон «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» № 73 от 25 июня 2002 г.). [Электронный ресурс]. URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/18230 (дата обращения: 11.09.2019).

The Federal Law «About Objects of Cultural Heritage (Historical and Cultural Monuments) of the People of the Russian Federation» No. 73 of the 25th of June, 2002). [Electronic resource]. URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/18230 (date of access: 11.09.2019) (in Russian).

12. The World Heritage: Newsletter. UNESCO World Heritage Centre [Electronic resource]. URL: https://whc.unesco.org/en/list/&&order=country (date of access: 11.09.2019).

13. Хадиуллина Г.Н., Семягин И.Н., Абдрахманова Д.Р. Разработка комплексного показателя транспортной доступности российских регионов на основе комплексного подхода (на примере Приволжского федерального округа) // Социально-экономические явления и процессы. 2018. Т. 13. № 104. С. 185–191. DOI: 10.20310/1819-8813-2018-13-104-185-191.

Khadiullina G.N., Semyagin I.N., Abdrakhmanova D.R. Development of the Complex Indicator of Transport Availability of Russian Regions on the Basis of the Integrated Approach (on the example of the Volga Federal District) // Social and Economic Phenomena and Processes. 2018. V. 13. № 104. P. 185–191 (in Russian).

УДК 504:57.013:622.271.2

ВОЗМОЖНОСТИ И ПРЕДПОСЫЛКИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ КАРЬЕРОВ НА ЧЕРНОМОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

[1]Туманова А.Л., [2]Гудкова Н.К., [2]Горбунова Т.Л., [3]Пачулия Е.Р.

[1]НИМЦ Экологии и здоровья человека, Сочи, e-mail: tymanova@mail.ru;
[2]Филиал института природно-технических систем, Сочи, e-mail: tatianashaw@mail.ru;
[3]Научно-исследовательский институт экспериментальной патологии и терапии Академии наук Абхазии, Сухум, e-mail: niiepit@rambler.ru

Статья посвящена разработке комплексного подхода к утилизации мелкодисперсных отходов добывающей промышленности на Черноморском побережье Кавказа, являющимся основным рекреационно-курортным регионом для граждан России, с применением биологических методов. Изучалась возможность обработки минеральных мелкодисперсных отходов суспензией микроводоросли *Chlorella Vulgaris* N. ИФР С-111 с целью их ревитализации и последующим использовании их в качестве субстрата для роста сельскохозяйственных культур или производства на их базе вермикомпоста. Культура хлореллы для этой цели выращивается на органических вытяжках животноводческих хозяйств, что обеспечивает экономичность ее производства и утилизацию эфтрофицирующих отходов. Метод основывается на способности фитоавтотофов использовать минеральные и биогенные ингредиенты, содержащиеся в утилизируемых материалах, в качестве питательного субстрата, источником энергии и микроэлементов для роста и функционирования, превращая отходы жизнедеятельности животных и добывающей промышленности в ценный коммерческий продукт. Предложенный в статье подход может быть применен для решения экологических проблем и минимизации экологических рисков функционирования первичной промышленности с учетом специфики региона. Эффективная схема утилизации отходов первичной промышленности должна основываться на тщательном анализе их физико-химической композиции. Однако потенциально отходы практически любого типа могут быть утилизированы с использованием биологических методов, включая существующие отвалы ТКО, содержащие соединения металлов. По мнению авторов, схема может потенциально расширяться и включать, помимо использования микроводорослей, различные биотические и абиотические компоненты для достижения максимально эффективного результата. Эта работа является начальной в серии исследований, посвященных развитию комплексной системы утилизации отходов и повышения эффективности их управления.

Ключевые слова: экологические риски, мелкодисперсные отходы карьеров, биологические методы, суспензия микроводорослей, эфтрофицирующие компоненты, биогумус, рекультивация

OPPORTUNITIES AND PREREQUISITES FOR QUARRIES WASTE UTILIZATION ON THE BLACK SEA COAST USING BIOLOGICAL METHODS

[1]Tumanova A.L., [2]Gudkova N.K., [2]Gorbunova T.L., [3]Pachuliya E.R.

[1]Science and Research medical center «Ecology and human health», Sochi, e-mail: tymanova@mail.ru;
[2]Branch of the Institute of Natural and Technical Systems in Sochi, Sochi, e-mail: tatianashaw@mail.ru;
[3]Reseach Institute of Experimental Pathology and Therapy of Academy of Science of Abkhazia, Sukhum, e-mail: niiepit@rambler.ru

The article is dedicated to development of an integral approach to the extractive industry fine waste utilization on the Black Sea coast of Caucasus, the main recreational and resort region for Russian citizens, using bio-methods. Possibility of fine mineral tailings treatment by microalgae *Chlorella Vulgaris N. IFR C-111* suspension was studies aiming their re-vitalization and further use as a substrate for agricultural crop growth or producing a vermicompost. For this purpose culture of *Chlorella* was grown on organic extracts of livestock, what provides both efficiency of its production and utilization of eutrophication wastes. The method is based on phyto-autotrophs ability to use mineral and nutrient ingredients, contained in the utilised materials, as a nutrient substrate, energy source and microelements for its growth and functioning, transforming animal waste and mining industry tailings into a valuable commercial product. The article proposed approach which can be applied to solve environmental problems and minimize the environmental risks of the primary industry processes, taking into account the specifics of the region. Effective scheme of primary industry waste disposal should be based on a thorough analysis of their physical – chemical composition. Potentially any type of waste can be utilised using bio-methods, including existing wastes dumps containing trace metals compounds. The authors state, the scheme can potentially expand to include, in addition to microalgae, various biotic and abiotic components to achieve most effective results. This work is the initial stage of a research set on integrated waste management system development and an improvement of waste management.

Keywords: environmental risks, fine quarry tailings, biological methods, microalgae suspension, eutrophication components, vermicompost, reclamation

Отходы, производимые в ходе разработки карьеров при строительстве, а также отвалы, образующие тела свалок и полигонов, создают серьезные экологические риски для окружающей среды, включая загрязнение и часто необратимые изменения прилегающих к ним природных биотопов. Кроме того, эти объекты, даже после прекраще-

ния их деятельности, в течение продолжительного времени представляют собой угрозу здоровью населения и окружающей среде [1]. С другой стороны, не меньшую опасность создают и неочищенные органические хозфекальные стоки поселений и отходы животноводства. Они приводят к эфтрофикации природных вод и заражению питьевых ресурсов патогенной микрофлорой. Особую актуальность вопросы эффективного управления отходами различных классов приобретают на территориях, предназначенных для отдыха граждан и восстановления их здоровья [2, 3].

В связи с этим приобретают значимость методы и подходы, обеспечивающие комплексное решение проблемы очистки поступающих и аккумулированных на полигонах и в отвалах отходов. При этом многоуровневые процессы технологий очистки воды, воздуха и грунтов, управление отходами и землепользование должны быть включены в план устойчивого развития предприятий, секторов промышленности и территории в целом. При этом могут быть реализованы возможности коммерческого использования отходов, с учетом планирования вторичного производства и цепочек утилизации и логистики, разработанные для данной местности. Первым этапом основного плана управления твердыми и жидкими отходами сектора первичной промышленности должны стать разработка и апробация путей технологической обработки отходов с целью их дальнейшей утилизации, на месте их образования или отвала. Такие методы основываются на минеральных и биогенных ингредиентах, содержащихся в утилизируемых материалах, которые могут служить питательным субстратом, источником энергии и микроэлементов для роста и функционирования биологических культур, превращающих отходы жизнедеятельности и производства в ценный коммерческий продукт [4, 5].

Цель исследования: выявление наиболее эффективных для исследуемых объектов методологий утилизации отходов для дальнейшего развития и разработки, а также научно обоснованные предложения потенциальной возможности их коммерческой реализации на основании анализа литературных источников и собственных экспериментальных данных. Эта работа является начальной в серии исследований, посвященных развитию комплексной системы утилизации отходов первичной промышленности и минимизации экологических рисков, связанных с их неэффективным управлением.

Материалы и методы исследования

Были изучены физико-химические характеристики отходов первичной промышленности, в частности мелкодисперсной фракции хвостов известняковых карьеров и органических отходов животноводческих хозяйств. Анализировался опыт как отечественных, так и зарубежных ученых, работающих в области оптимизации управления отходами и рекультивации земель, используемых для отвалов, с применением комплексных биологических методов, основанных на естественных свойствах фитоавтотрофов утилизировать химические компоненты в ходе их метаболизма.

В практической части работы были проведены рекогносцировочные исследования, отражающие перспективы использования суспензии микроводоросли *Chlorella Vulgaris*, выращенной на водных вытяжках твердых органических отходов питомника приматов, для биологизации и повышения свойств плодородности минеральных субстратов, состоящих их мелкодисперсных фракций отходов добывающей промышленности.

Для эксперимента использовался штамм *Chlorella Vulgaris ИФР N C-111*. Маточная культура получена на среде Таммия в лабораторных условиях при температуре 27 °С и искусственном освещении. Эксперимент проходил в естественных условиях и без внесения дополнительных микроэлементов для роста водорослей и перемешивания.

В качестве культуральной среды в рекогносцировочном опыте использовалась 20 %-ная вытяжка из органического отхода питомника приматов, полученная путем разведения и перемешивания отходов с водопроводной водой. После этого вносилась маточная культура хлореллы в объеме 1 % от общего объема раствора. При этом начальная плотность культуры была 1 млн кл/мл. Плотность культуры после этого определялась ежедневно путем подсчета клеток хлореллы в камере Горяева. Плотность культуры достигала 65–70 млн кл/мл на 5 день эксперимента.

Эта культура использовалась как субстрат для создания вермикомпоста на основе нейтральной минеральной фракции и суспензии хлореллы с использованием монокультуры червей Владимирский старатель (*Eisenia foetida*). Субстрат с компостными червями обрабатывался суспензией хлореллы (1 л суспензии на семью червей)

ежедневно. Цель рекогносцировочного исследования – выделить основные направления дальнейшей работы в рамках исследования потенциальных возможностей рекультивации отходов карьеров и получению на их основе коммерческого продукта, используя относительно недорогие и экологически приемлемые биотехнологии.

Результаты исследования и их обсуждение

Черноморское побережье Краснодарского края является основным рекреационно-курортным регионом России, включающим города Большой Сочи, Туапсе, Геленджик, Новороссийск и Анапу. Для карьеров, расположенных на побережье, где производится добыча строительных материалов, необходимо использовать наилучшие доступные технологии, соответствующие всем природоохранным требованиям.

Другой проблемой, в устранении которой могут быть использованы предложенные решения, является складирование твердых коммунальных и строительных отходов в отработанных карьерах. Из-за дороговизны и неудобства вывоза отходов из г. Сочи значительная часть отходов сваливается в лесных массивах, оврагах и карьерах в окрестностях города, в частности на территории Сочинского национального парка [6]. Особую опасность представляют карьеры, расположенные на берегах водных объектов, особенно в непосредственной близости к водозаборам питьевой воды, расположенным в долинах рек.

На Черноморском побережье находится целый ряд карьеров по добыче инертных материалов. Ниже приводится краткая характеристика карьеров Черноморского побережья Краснодарского края. В районе Большого Сочи расположено три карьера по добыче известняков.

Известняк широко применяется в качестве строительного материала. Кроме того, известняк используется в химической и пищевой промышленности: в производстве соды, минеральных удобрений, стекла, сахара, бумаги. Известняк является осадочной горной породой органического происхождения. Химическая формула известняка $CaCO_3$. В карьерах слои известняка часто перемежаются прослоями доломитизированного известняка или доломита. Это также осадочная карбонатная горная порода, которая на 95% состоит из минерала доломита и некоторых примесей. Химическая формула доломита $CaMg(CO_3)_2$.

Ниже приводится краткая характеристика карьеров, расположенных на Черноморском побережье Краснодарского края.

Ахштырский карьер по добыче известняков находится рядом с селом Ахштырь Адлерского района Сочи, расположенным на левом склоне долины реки Мзымта. Карьер обеспечивал строительными материалами строительство совмещенной дороги из Адлера в Красную поляну в период реализации олимпийского проекта с 2009 по 2014 г. В настоящее время карьер закрыт. Карьер находится в пределах Ахштырского карстового массива, который является зоной питания Мзымтенского месторождения подземных вод, обеспечивающих питьевой водой более половины населения г. Сочи. В 2013 г. карьер стал использоваться для складирования строительных и твердых коммунальных отходов. Складирование отходов в карьере, для которого характерно активное протекание карстовых процессов, может нанести непоправимый вред месторождениям подземных вод в долине р. Мзымты. В результате нерационального использования отработанного Ахштырского карьера возрастают риски загрязнения почв, грунтов, поверхностных и подземных вод.

Каменский карьер находится рядом с селом Галицино Адлерского района Сочи, на правом склоне долины реки Мзымта. Это действующий карьер по добыче открытым способом известняка для строительных нужд большого курортного региона Сочи. Каменский карьер обеспечивал строительными материалами многие олимпийские объекты в период реализации олимпийского проекта в Сочи в период с 2008 по 2014 г.

Дагомысский карьер расположен в районе пос. Дагомыс Лазаревского р-на г. Сочи. Известняковый или доломитовый щебень Дагомысского карьера имеет отличную ударостойкость и высокую устойчивость к перепадам температур. Он обладает низким водонасыщением и водопоглощением.

Туапсинский карьер расположен в пределах Кривенковского месторождения известняков, которое находится на склонах горы Невеб в Туапсинском районе. В Туапсинском карьере осуществляется производство щебня известняка различных фракций, а также бутового и негабаритного камня.

В границах Новороссийского района Краснодарского края находится множество карьеров по добыче мергеля. Это связано с тем, что горы вокруг Цемесской бухты сложены из мергеля. Это осадочные породы верхнемелового периода. Большая часть

мергелей представляет собой смесь глин с доломитом или известняком. Известковый мергель – главное сырье цементной промышленности. Встречаются мергели, большая часть состава которых приходится на глины или силикаты. Глинистые мергели содержат до трех четвертей алюмосиликатов. В кремнистых мергелях до 98% объема приходится на SiO_2. Мергель в основном используется при производстве цемента. Качество новороссийского мергеля позволяет производить цемент высшей мировой пробы.

В районе г. Новороссийска существует несколько карьеров по добыче мергеля: Шесхарис, Мефодиевский, Мирный, карьер бывшего цементного завода и др.

Шесхаринский карьер. На нем разрабатывается наиболее крупное месторождение мергелей. По качеству щебень из пород этого месторождения отвечает ГОСТ 8267-93, имеет марку по дробимости «400-600», по истираемости И-III, по сопротивлению удару У-50, по морозостойкости Мрз 50.

При производстве работ на дробильно-сортировочном узле мергель дробится на щебень с выходом двух фракций 20–40 мм и 5–20 мм. Количество второй фракции составляет 30% от общего количества щебня, получаемого из горной массы.

На большинстве карьеров и участках открытой добычи образуются мелкодисперсные отходы, в которых в основном частицы не 75–100 микрон: глины – менее 2 микрон, илы – от 2 до 60 микрон, мелкий песок – более 60 микрон [7]. Химический состав известняковых отходов определяется главным образом содержанием кальция CaO (56%) и CO_2 (44%). В ряде случаев материал включает в себя примеси глинистых минералов, например доломитизированный известняк содержит от 4 до 17% MgO, мергелистый известняк – от 6 до 21% $SiO_2 + R2O_3$. Эти материалы чаще всего химически инертны. Однако мелкодисперсные известняковые фракции (менее 10 микрон) могут влиять на химический состав поверхностных вод и почвы, снижая их кислотность [8]. Это свойство используется фермерами Северной Америки, Австралии, Южной Африки, которые используют известковые отходы некоторых участков горных разработок как удобрения для кислых почв [4]. Многие химические элементы, образующие составные мелкодисперсных известняковых отходов, являются биогенами и микроэлементами, входящими в состав большинства питательных сред и субстратов для культивации культур одноклеточных водорослей [9].

За последние годы было опубликовано множество работ, посвященных культивированию микроводорослей на вытяжках органических отходов животноводства. Например, для выращивания культуры *Chlorella Vulgaris* предлагается использование вытяжек из отходов животноводческих и птицеводческих хозяйств [10]. Учеными Института морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского (г. Севастополь) была исследована возможность выращивания *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* на вытяжке из кроличьего и куриного навоза. Методы позволяют утилизировать органические отходы животноводческих комплексов экологически приемлемым способом, основанном на свойствах метаболизма микроводорослей – автотрофов, поглощающих биогенные вещества, являющиеся основой органических отходов. Кроме того, значительную роль играют и естественные бактерицидные свойства водорослей *Chlorella Vulgaris*, обеспечивающие ограничение распространения патологической микрофлоры в конечном продукте [11].

Работы позволяют сделать выводы, что практически все виды органических отходов животноводства могут использоваться одновременно для технологического процесса очистки сточных вод и утилизации твердых отходов и для экономически эффективного получения биомассы водорослей. Биохимический состав отходов из различных источников происхождения будет отличаться и, соответственно, количество, качественные характеристики полученной в процессе их очистки биомассы водорослей и возможности ее дальнейшего применения тоже будут различны. Один из способов утилизации биомассы, микроводорослей, в частности *Chlorella Vulgaris*, это альголизация обедненных органикой почвенных субстратов, полученных на основе мелкодисперсных отходов карьеров, с целью повышения плодородности таких субстратов для выращивания сельскохозяйственных культур и рекультивации земель, занятых отвалами добычи минералов или полигонами ТКО [12, 13].

Метод рекультивации отходов из отвалов добывающей промышленности и земель, используемых для полигонов муниципальных отходов был апробирован в Таиланде. Отмечено, что в нетоксичных или слаботоксичных вытяжках отходов (10%, и 20%, и 30% вытяжки) наблюдалось существенное снижение не только эфтрофициркющих компонентов (Азот аммоний-

ный – до 41,5%, азот нитритов – до 32,4%, общий фосфор – до 55,1%), но и содержания металлов (цинка – до 90%, никеля – до 70% и хрома – до 60%) [14]. Кроме того, при использовании культуры хлореллы в сочетании с мелкодисперными кальциевыми компонентами достигается значительное повышение pH вытяжек (с 4 до 7).

Установлено, что с 1000 л сточных вод животноводческих комплексов можно получить от 2800 до 4250 кг живой биомассы микроводорослей. Такая суспензия может эффективно использоваться для обеспечения биологизации нейтрального минерального субстрата или формирования высокопродуктивного вермикомпоста [5, 14, 15].

В проведенных нами рекогносцировочных экспериментах по выращиванию суспензии микроводоросли Хлорелла на вытяжках органических отходов питомника приматов научно-исследовательского института экспериментальной патологии и терапии Академии наук Абхазии (НИИЭПиТ АНА) наблюдался повышенный (в 2 раза), по сравнению с выращиваемой на стандартной культивационной среде водорослью, прирост биомассы без добавления дополнительных микроэлементов. Результат был получен при естественном освещении и температурном режиме без дополнительной аэрации раствора. Плотность клеточной культуры после трех дней культивации была 65–70 млн кл/мл. Этот результат подтверждает данные, полученные учеными ИнБЮМа [13].

Суспензия хлореллы, полученная на 20% вытяжке из органических отходов питомника, использовалась в комплексе с нейтральным субстратом, для получения вермикомпоста с помощью монокультуры червей «Владимирский Старатель». В настоящее время эксперимент продолжается для установления оптимальной пропорции смеси минерального субстрата и органической фракции, основанной на суспензии хлореллы, а также для определения и анализа биохимических реакций процесса. Как отмечалось выше, при различных качественных характеристиках минеральных и органических отходов, планирование процесса может варьироваться в соответствии с конкретными исходными данными и условиями.

Выводы

На основе рекогносцировочных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Химически инертные мелкодисперсные фракции отходов карьеров, в частности известняковых, не утилизируемые в строительной индустрии, могут быть использованы как основа субстрата для выращивания сельскохозяйственных культур после биологизации с помощью суспензии микроводорослей. Живые микроводоросли, с одной стороны, способны поглощать для своей жизнедеятельности такие элементы, как Ca, Mg, Fe, Si, содержащиеся в минеральных отходах, а с другой – обогащать минеральный субстрат органическими веществами, необходимыми для метаболизма растений, и повышать усвояемость растениями неорганических элементов.

2. Суспензия биомассы живых клеток хлореллы может быть получена на вытяжках из органических отходов животноводства и эфтрофирующих стоков очистных сооружений без добавления дополнительных дорогостоящих микроэлементов. В условиях субтропического климата Черноморского побережья может происходить в естественных условиях круглогодично. При этом достигаются две цели: эффективная очистка эфтрофицирующего стока, содержащего избыток биогенов, и получение биомассы водорослей, которые потенциально могут быть использованы для ревитализации минеральных отходов, создания биогумуса и рекультивации земель.

3. Для создания эффективной схемы утилизации отходов карьеров данного региона необходим тщательный анализ их физико-химических свойств, а также биохимического состава органического отхода, который может быть использован по месту расположения карьера. Исходя из этого анализа, должен разрабатываться технологический план комплексной утилизации отходов и коммерческого использования конечного продукта, так как его свойства и химический состав будут зависеть от характеристик исходных составляющих. Однако отходы практически любого типа могут быть утилизированы с использованием суспензии хлореллы, включая существующие отвалы полигонов ТКО, содержащие соединения металлов.

4. Хотя аспект биологической очистки твердых и жидких отходов с помощью микроводорослей изучается в настоящее время довольно широко, эта тема нуждается в дальнейших исследованиях и развитии в регионах. При этом, по мнению авторов, схема может потенциально расширяться и включать, помимо использования микроводорослей, различные биотические и абиотические компоненты для достижения максимально эффективного результата.

5. Предложенный в статье подход может быть применен для решения экологических проблем и минимизации экологических рисков добычи строительных материалов с учетом специфики Черноморского побережья России.

Список литературы / References

1. Алексеенко А.В., Дребенштедт К. Оценка воздействия на окружающую среду и рекультивацию отвалов карьера по добыче мергеля // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Естественные науки. 2018. Т. 42. № 3. С. 467–477. DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-3-467-477.

Alekseenko A.V., Drebenstedt K. Environmental impact assessment and reclamation of marl quarry dumps // Scientific Bulletin of the Belgorod state University. Natural Sciences series. 2018. V. 42. № 3. P. 467–477 (in Russian).

2. Гудкова Н.К. Исследование факторов риска и возможных последствий активизации опасных природных процессов при реализации инвестиционных проектов в Сочинском регионе // Сборник научных трудов СНИЦ РАН. 2015. Сочи, 2015. С.118–127.

Gudkova N.K. Studying of risk factors and possible consequences of natural hazards activation during the implementation of investment projects in the Sochi region // Sbornik nauchnykh trudov SNITS RAN. 2015. Sochi, 2015. P. 118–127 (in Russian).

3. Гудкова Н.К., Туманова А.Л. О проблемах внедрения экологического менеджмента в курортно-рекреационной сфере Юга России // Успехи современного естествознания. 2007. № 3. С. 9–10.

Gudkova N.K., Tumanova A.L. On the problems of ecological management introduction in the South of Russia resort and recreational sphere // Advances in current natural sciences. 2007. № 3. P. 9–10 (in Russian).

4. Annandale J.M., Gorbunova T.L., Gudkova N.K. Gravity settlement of process sources in open cast quarries, mines and resultant effects and the potential use of fines, dust in the environment. Proceedings of conference Sochi «Economic, technological and environmental aspects of sustainable development of Russian regions. Russian Federation. Sochi. 23–26 October. Sochi, 2018. P. 206–213.

5. Афанасьев А.В. Анализ технологий переработки навоза и помета // Вестник ВНИИМЖ. 2012. № 4. С. 28–35.

Afanasiev A.V. Analysis of technologies of manure and litter processing // Vestnik VNIIMZH. 2012. № 4. P. 28 – 35 (in Russian).

6. Гудкова Н.К. Олимпийский проект в Сочи: экологические аспекты // Academia. Архитектура и строительство. 2015. № 2. С. 91–94.

Gudkova N.K. Sochi Olympic Projects: Ecological Aspects // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2015. № 2. P. 91–94 (in Russian).

7. Rhodes M. Introduction to particle technology. 2d ed. Australia: J. Willey and Son, 2008. 474 p.

8. Антоненко Н.А., Дергунов Д.В., Шейнкман Л.Э. Исследование влияния известняковой мелкодисперсной пыли, образующейся при открытых горных работах, на свойства почвы // Известия Тульского Государственного университета. Науки о Земле. 2017. № 2. С. 3–17.

Antonenko N.A., Dergunov D.V., Sheinkman L.E. Studying the fine limestone dust formed by semi-opened mining operations influence on soil properties // Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle. 2017. № 2. P. 3–17 (in Russian).

9. Andersen R.A., Berges J.A. Harrison P.J., Watanabe M.M. Recipies for freshwater and seawater media. Algae culture techniques. Elsevier Academic press, 2005. P. 429–538.

10. Лукьянов В.А. К вопросу использования *Chlorella vulgaris* для биологической доочистки сточных вод // Актуальные проблемы агропромышленного производства: материалы Международной научно-практической конференции. Курск, 2013. С. 49–51.

Lukyanov V.A. On the issue of *Chlorella vulgaris* use for biological wastewater treatment // Actual problems of agricultural production: materials of the International scientific-practical conference. Kursk, 2013. P. 49–51 (in Russian).

11. Лукьянов В.А., Стифеев А.И., Горбунова С.Ю. Научно обоснованное культивирование микроводорослей // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 9. С. 55–57.

Lukyanov V.A., Stifeev A.I., Gorbunova S.Yu. Evidence-based cultivation of microalgae // Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2013. № 9. P. 55–57 (in Russian).

12. Горбунова С.Ю., Жондарева Я.Д. Использование сточных вод птицефабрик для увеличения продуктивности *Arthrospira platensis* (Nordst.) Geitler // Вестник СПбГУ. Серия 3. Биология. 2015. № 1. С. 70–77.

Gorbunova S.Yu., Zhondareva Ya.D. Using of poultry farms wastewater to increase productivity of *Arthrospira platensis* (Nordst.) Geitler // Vestnik SPbGU. Seriya 3. Biologiya. 2015. № 1. P. 70–77 (in Russian).

13. Лукьянов В.А., Горбунова С.Ю. Экотехнологичекая система утилизации отходов агропромышленного комплекса и получение на их основе биомассы микроводорослей // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. № 6–1. С. 79–82.

Lukyanov V.A., Gorbunova S.Yu. Eco-technological system of agro-industrial complex waste utilization and production of microalgae biomass on its basis // Aktual'nyye problemy gumanitarnykh i yestestvennykh nauk. 2014. № 6–1. P. 79–82 (in Russian).

14. Thongpinyochai S., Ritchie R.J. Using Chlorella vulgar is to decrease the environmental effect of garbage dump leachates. Journal of Bioremediation and Biodegradation. 2014. V. 5. P. 239. DOI: 10.4172/2155-6199.1000239.

15. Куницын М.В. Патент 1 С 7 6 0 4 5 4 2 U R. Способ стимуляции развития, роста и продуктивности деревянистых растений на гидропонных установках тепличного комплекса. Публикация патента 27.06.2012.

Kunitsyn M.V. Patent 1 C 7 6 0 4 5 4 2 U R. Method of stimulation of development, growth and productivity of woody plants on hydroponic installations of a greenhouse complex. Publication of the patent 27.06.2012 (in Russian).

УДК 548:542.223:547.32

ПОЛУЧЕНИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФОРМ НА ОСНОВЕ БОРНОЙ И АМИНОУКСУСНОЙ КИСЛОТ

Тютрина С.В., Мясникова Н.В., Григорьева О.Ю., Осина М.А.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет Московский энергетический институт», Москва, e-mail: lana-2001@yandex.ru

Показана взаимосвязь между варьированием условий кристаллизации и получением разных форм кристаллических осадков. Получены образцы комплексного соединения диглициноборной кислоты и отдельные фазы смешанных кристаллов борной и аминоуксусной кислот. Выявлены основные закономерности формирования кристаллических осадков комплексного соединения и смешанных кристаллов в зависимости от молярного соотношения компонентов, изменения pH и температурного режима кристаллизации. Методом рентгеноструктурного анализа (РСА) исследован состав полученных кристаллических соединений. При сравнительном анализе спектральных пиков с рентгенограммами эталонного образца доказано наличие в структуре исследуемых осадков нового изомера L-α-глицина. Определены условия получения нового изомера L-α-глицина, а также валентные углы и длины связей в новом структурном изомере L-α-глицина, представлено графическое изображение его молекулы в сравнении с эталонным образцом. Методом электронной микрофотографии показаны отличия в строении кристаллов диглициноборной кислоты и со-кристаллов. Фотографирование проводилось в двух режимах – николи скрещенные и николи параллельные, предоставлены фотографии исходных компонентов, входящих в кристаллические структуры. В результате работы были предложены оптимальные условия синтеза новой изомерной формы глицина, а также методика получения смешанных кристаллов из растворов борной кислоты и L-α-глицина при совместной механической активации в определенном температурном интервале. Это позволило продолжить работу по дальнейшему исследованию взаимосвязи «условия синтеза – структура» и получить кристаллические модификации, в состав которых входит либо диглициноборная кислота, либо смешанные кристаллы смеси борной и аминоуксусной кислот. Методом дифракционного анализа доказали наличие со-кристаллов в кристаллических осадках, синтезированных в молярном соотношении органо-неорганических компонентов 1:1, что не наблюдалось при соотношениях 1:2 и 1:3 борной и аминоуксусной кислот соответственно. Представлен предполагаемый механизм протекания реакции синтеза диглициноборной кислоты, дано уравнение реакции. Полученные образцы смешанных кристаллов могут быть использованы в качестве материалов, обладающих пьезоэлектрическими и нелинейными оптическими свойствами.

Ключевые слова: смешанные кристаллы, со-кристаллы, борная кислота, аминоуксусная кислота, рентгеноструктурный анализ, дифракционный анализ

PREPARATION AND PHYSICO-CHEMICAL STUDY OF CRYSTALLINE FORMS BASED ON BORIC AND AMINOACETIC ACIDS

Tyutrina S.V., Myasnikova N.V., Grigoreva O.Yu., Osina M.A.

National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow, e-mail: lana-2001@ yandex.ru

The relationship between the variation of crystallization conditions and the production of different forms of crystalline precipitates is shown. Samples of complex compound of diglycinoboric acid and separate phases of mixed crystals of boric and aminoacetic acids were obtained. The basic regularities of the formation of crystal sediments of complex compounds and mixed crystals depending on the molar ratio of the components, changes in pH and temperature regime of crystallization. The composition of the obtained crystalline compounds was studied by x-ray diffraction (XRD). The comparative analysis of spectral peaks with radiographs of the reference sample proved the presence of a new isomer L-α- glycine in the structure of the studied sediments. The conditions for obtaining a new isomer of L-α- glycine, as well as the valence angles and bond lengths in the new structural isomer of L-α- glycine are determined, a graphical image of its molecule in comparison with the reference sample is presented. Differences in the structure of diglycinoboric acid crystals and co-crystals are shown by the method of electron Micrography. Photography was carried out in two modes – Nicoli crossed and Nicoli parallel, photos of the initial components included in the crystal structures are provided. As a result of the work, optimal conditions for the synthesis of a new isomeric form of glycine were proposed, as well as a technique for obtaining mixed crystals from solutions of boric acid and L-α- glycine with joint mechanical activation in a certain temperature range. This allowed to continue work on further study of the relationship «synthesis conditions-structure» and to obtain crystalline modifications, which include either diglycinoboric acid or mixed crystals of a mixture of boric and aminoacetic acids. The presence of co-crystals in crystalline precipitates synthesized in the molar ratio of organo-inorganic components 1:1 was proved by diffraction analysis, which was not observed at the ratios 1:2 and 1:3 of boric and aminoacetic acids, respectively. The proposed mechanism of the reaction of diglycinoboric acid synthesis is presented, the reaction equation is given. The obtained samples of mixed crystals can be used as materials with piezoelectric and nonlinear optical properties.

Keywords: mixed crystals, boric acid, co-crystals, aminoacetic acid, x-ray diffraction analysis, diffraction analysis

Синтез смешанных кристаллов, в состав которых одновременно входят молекулярные органо-неорганические компоненты, является перспективным направлением создания новых функциональных материалов. Авторами был проведен патентный анализ имеющихся данных по синтезу кристаллических форм различных модификаций

глицина и его композиций, показавший растущий интерес к способу химического получения смешанных кристаллических фаз. Недостаточность сведений о строении смешанных кристаллов (со-кристаллов) и о закономерностях их синтеза ставит дополнительную задачу для выявления взаимосвязей «условия синтеза – структура». Варьирование условий и методов кристаллизации с целью изучения возможности получения со-кристаллов является важным этапом по исследованию систем на основе аминокислот [1]. Многокомпонентные кристаллы могут быть использованы в качестве материалов, обладающих пьезоэлектрическими и нелинейными оптическими свойствами, а также иметь акустические и диэлектрические аномалии [2]. Целью работы является разработка методики химического синтеза и физико-химические исследования образующихся фаз смешанных кристаллов на основе модификации L-α-глицина и борной кислоты.

Материалы и методы исследования

Для получения многокомпонентного кристаллического соединения были использованы: борная кислота «ХЧ», содержание основного вещества более 99%, L-α-глицин (аминоуксусная кислота) «Ч» ГОСТ 5860-75. Проведена предварительная серия экспериментов по отработке методики получения со-кристаллов на основе аминоуксусной и борной кислот, для этого были взяты молярные соотношения реагентов 1:1, 1:2 и 1:3. Формирование кристаллических фаз зависело от молярных соотношений органического и неорганического компонентов, изменений pH среды и условий кристаллизации. На основе ранее разработанной методики синтеза кристаллической формы комплексного соединения диглициноборной кислоты (ДГБК), полученной в мольных соотношениях реагентов 1:2 [3, 4], была продолжена работа по получению смешанных кристаллических форм борной кислоты и L-α-глицина.

Методика синтеза диглициноборной кислоты: навеску борной кислоты H_3BO_3 3,09 г (0,05 моль) при постоянном перемешивании растворяли в 30 мл дистиллированной воды при нагревании на водяной бане до 60 °C. Раствор охлаждали до 30 °C и вносили 7,5 г (0,1 моль) L-α-глицина. Процесс кристаллизации продолжался при комнатной температуре около 48 ч, полное формирование осадка происходило на третьи сутки. Кристаллы отделяли фильтрованием на воронке Бюхнера, промывали спиртом, затем эфиром и сушили в эксикаторе. Для получения смешанной кристаллической фазы на основе борной и аминоуксусной кислот были взяты молярные соотношения компонентов 1:1. В ходе отработки методики синтеза со-кристаллов изменяли температуру, при которой проводили растворение осадков в интервалах от 35 °C до 85 °C и объем растворителя (дистиллированной воды) от 10 мл до 60 мл. Определено, что состав продукта зависит от относительного содержания воды в системе, что может служить косвенным доказательством протекания реакции на поверхности частиц через фазу жидкой воды [5]. Время перемешивания компонентов варьировалось от нескольких минут до 2 ч. В результате оптимальные условия синтеза, при которых была получена смешанная кристаллическая форма, состоящая из L-α-глицина и борной кислоты, были выбраны следующие: температура составила 45 °C, объем дистиллированной воды 20 мл, время перемешивания – 1 ч. Более длительное перемешивание компонентов и поддержание температуры не изменяло условий кристаллизации. Навеску борной кислоты растворяли в 20 мл дистиллированной воды при нагревании на водяной бане до 45 °C. Не охлаждая раствор, добавляли L-α-глицин небольшими порциями при постоянном перемешивании. После полного растворения компонентов систему оставляли при температуре 45 °C и постоянном перемешивании в течение 1 ч, затем медленно охлаждали и оставляли на кристаллизацию при комнатной температуре. Осадок образовывался на третьи сутки, полное формирование кристаллов наблюдалось на пятый день. Результаты кристаллизации были различны в зависимости от молярных соотношений компонентов, которые влияли на изменение pH растворов и условия кристаллизации. Рентгеновские дифрактограммы получали на автоматическом дифрактометре ДРОН 3 с использованием медного K_α-излучения и на монокристальном автоматическом четырехкружном дифрактометре Bruker D8. Структуру кристаллов диглицоноборной кислоты и полученных со-кристаллов исследовали с помощью поляризационного микроскопа ZEISS AXIO Scope A1 в проходящем свете в иммерсионных каплях диаметром до 10 мм. Фотографирование производилось на этом же микроскопе по программе Axio Vision Rel 4.8 в двух режимах: николи скрещенные и николи параллельные.

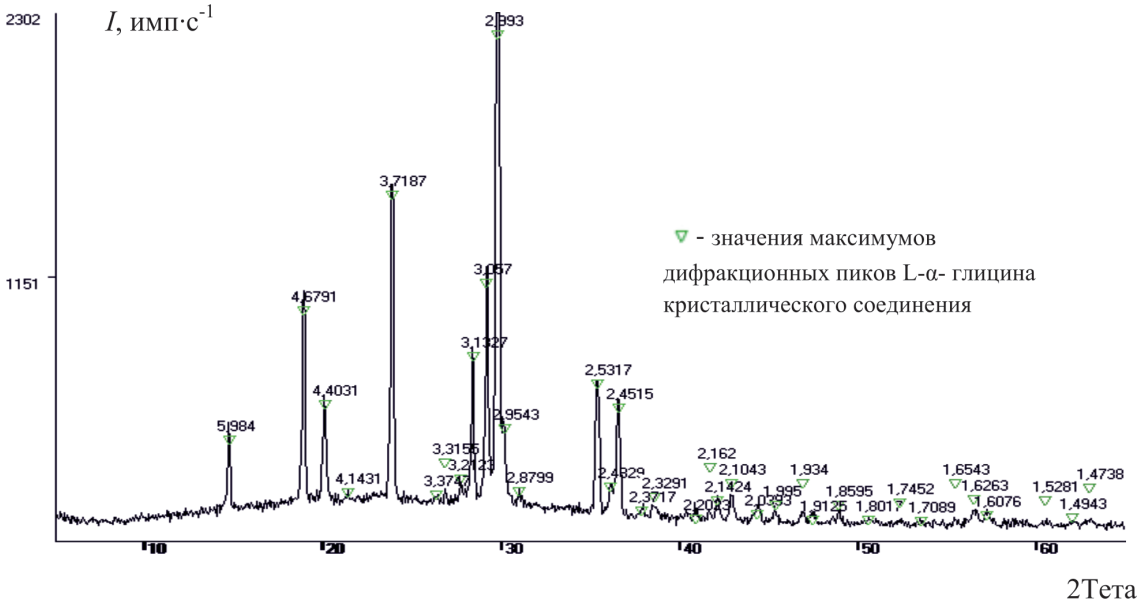


Рис. 1. Рентгенограмма монокристалла эталонного L-α-глицина и L-α-глицина, входящего в кристаллическую фазу комплексного соединения

Результаты исследования и их обсуждение

Полученный комплекс диглициноборной кислоты, синтезированный при молярном соотношении компонентов 1:2, имеет pH равный 4,8 и относится к типу комплексных кислот, а кристаллическая система, полученная при мольном соотношении компонентов 1:1, имеет значение pH 4,1. Для уточнения состава синтезированной кристаллической структуры был проведен рентгеноструктурный анализ, данные которого сравнивались с имеющимися результатами РСА диглициноборной кислоты. Для анализа были отобраны кристаллы размером 0,159–0,860 μm. Параметры элементарной ячейки кристаллов определяли из рентгенограммы и сравнивали с имеющимися эталонными образцами [6]. Идентификация фаз состава изучаемого образца, проведенная методом РСА, показала, что в структуру смешанных кристаллов входит такой же новый структурный изомер L-α-глицина, что был обнаружен авторами в кристаллах ДГБК [7]. Подробное описание строения диглициноборной кислоты, полученное на основе данных ИК-спектроскопии, термогравиметрии и рентгеноструктурного анализа, было дано в работе [3, 4, 7]. В частности, авторы показали, что синтезированное вещество на основе борной и аминоуксусной кислот в мольных соотношениях 1:2 представляет собой комплексное соединение, внутренняя сфера которого включает бор, находящийся в тетракоординированном положении. Данный процесс можно описать химической реакцией:

$$H_3BO_3 + 2NH_2–CH_2–COOH \rightarrow H[B(C_2H_3O_2N)_2]\cdot 3H_2O.$$

Для исследуемого нового образца смешанной кристаллической системы, полученной при соотношении компонентов 1:1, методом РСА были определены зависимости относительных интенсивностей дифракционных отражений *I* от набора брэгговских углов θ. Установленные межплоскостные расстояния в образцах смешанных кристаллов показали идентичность полученных данных с имеющимися результатами РСА нового структурного изомера L-α-глицина в ДГБК.

Проведенное сравнение рентгенограмм известного изомера L-α-глицина (Американская картотека, выпуск № 32-1702 $C_2H_5NO_2$) и L-α-глицина, входящего в состав синтезированного соединения, представлено на рис. 1. Параметры элементарной ячейки исследуемого кристалла, определенные фотометодом с погрешностью во втором знаке, составили: $a = 5{,}10$ (1); $b = 11{,}96$ (1); $c = 5{,}46$ (1) Å; $\beta = 111{,}77$ градусов, монокристалл моноклинный, пространственная группа $P2_1/n$. Поскольку было отмечено несовпадение некоторых пиков L-α-глицина, входящего в состав смешанной кристаллической фазы и эталонных образцов, то для дальнейшего

уточнения структуры L-α-глицина, входящего в образец кристаллического соединения, были проведены дополнительные исследования с использованием монокристаллического автоматического четырехкружного дифрактометра Bruker D8. Параметры элементарной ячейки и пространственная группа оказались следующие: a = 5,0892(3), b = 11,8127(8), c = 5,4631(4) Å; β = 111,96(3) градусов; $P2_1/n$. Расчет параметров кристаллической решетки и длина связей изучаемого образца полностью совпали с ранее полученным авторами новым изомером L-α-глицина [4, 6] и составили: длина связей (d, Å) O_1-C_2 = 1,258 (1), O_2-C_2 = 1,256 (1), N_1-C_1 = 1,484 (1), N-H = 0,9100, C_1-C_2 = 1,530 (2), C-H = 0,9900. Валентный угол (градус): N_1-C_1-C_2 = 111,5 (8), O_1-C_2-O_2 = 125, (1), O_2-C_2-C_1 = 116,8 (1), C_2-C_1-H_4 = 109,2, N_1-C_1-H_5 = 109,3.

структурного анализа и моделирования пространственного расположения атомов в молекулах L-α-глицина можно сделать вывод, что входящий в состав комплексного соединения L-α-глицин действительно имеет структуру, отличную от известных, и является новым изомером [8]. Следующим этапом проводимых исследований стало детальное дифракционное исследование полученных смешанных кристаллов и сравнение дифракционных пиков с диглициноборной кислотой (рис. 3). Точность позиционирования осей 2 Тета и Омега составила 0,005, воспроизводимость положения осей 2 Тета и Омега составила 0,0002. Обработка результатов проводилась с помощью программы Apex2, предназначенной для работы с низкомолекулярными соединениями (молекулярная масса менее 1000 а.е.).

а) *б)*

Рис. 2. Изображение молекулы L-α-глицина: а) эталонный образец L-α-глицина, б) L-α-глицин, входящий в состав ДГБК и в образец смешанных кристаллов

При работе с Кембриджским Банком структурных данных был выбран наиболее близкий по параметрам к исследуемому соединению образец под рефкодом «GLYCIN17» [6, 8]. Однако значения межатомных расстояний, полученные в ходе исследования, позволяют предположить, что полученный авторами глицин, входящий как в диглициноборную кислоту, так и в смешанную кристаллическую фазу, является новым структурным изомером L-α-глицина. Рис. 2 иллюстрирует две изомерные структуры L-α-глицина – уже известную и вновь полученную.

CIF-файл, содержащий информацию о структуре новой модели L-α-глицина, депонирован в CCDC (Кембриджский банк структурных данных) под номером 1519058 (www.ccdc.com.ac.uk/data.requst/cif). Таким образом, на основании данных рентгено-

Полученная смешанная кристаллическая форма, состоящая из L-α-глицина и борной кислоты, находится в метастабильной модификации, что подтверждается наличием более выраженного дифракционного пика в области 15° на оси 2Тэта и менее выраженного пика в области 30°. На основании анализа пиков дифрактограмм сделано предположение о наличии новых кристаллических форм, являющихся со-кристаллами L-α-глицина и борной кислоты при молярном соотношении компонентов 1:1. При соотношении компонентов 1:1 на дифрактограмме прослеживаются пики, не характерные для диглициноборной кислоты, в которой соотношение компонентов составило 1:2. Для растворов с молярным соотношением 1:3 кристаллизация вообще не происходила, раствор представлял собой гель, который при длительном хранении и высы-

хании превращался в бесформенную массу. Проведя анализ дифрактограммы, можно сделать предварительный вывод: многокомпонентные кристаллы возникают при взаимодействии изомера L-α-глицина и борной кислоты в мольном соотношении 1:1. Результаты исследования структуры кристаллов диглициноборной кислоты и полученных со-кристаллов методом электронной микрофотографии представлены на рис. 4 и 5. Кристаллы борной кислоты имеют вид шестигранников, кристаллы глицина обладают центросимметричной кристаллической структурой, а кристаллы диглициноборной кислоты имеют вид вытянутых прямоугольников, на которых четко просматриваются края незавершённых атомных плоскостей, образующих ступени [3, 7].

Кристаллическая фаза, представленная на рис. 5, не обладает выраженной симметрией и напоминает по своим оптическим свойствам поликристаллический агрегат.

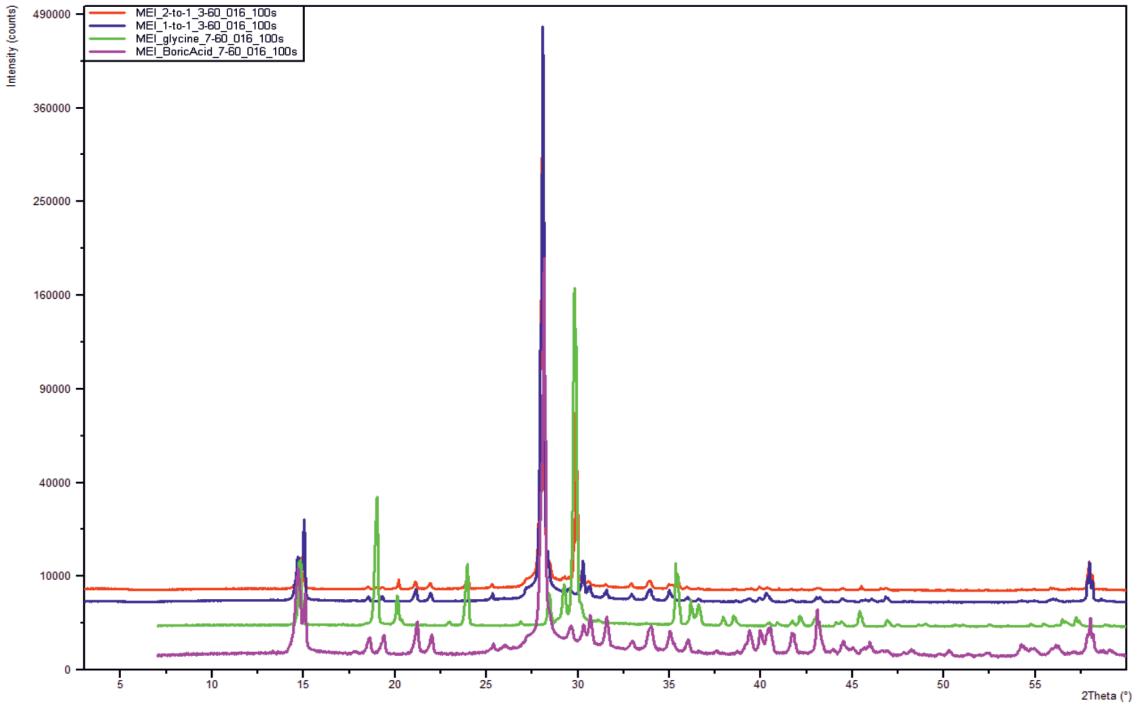
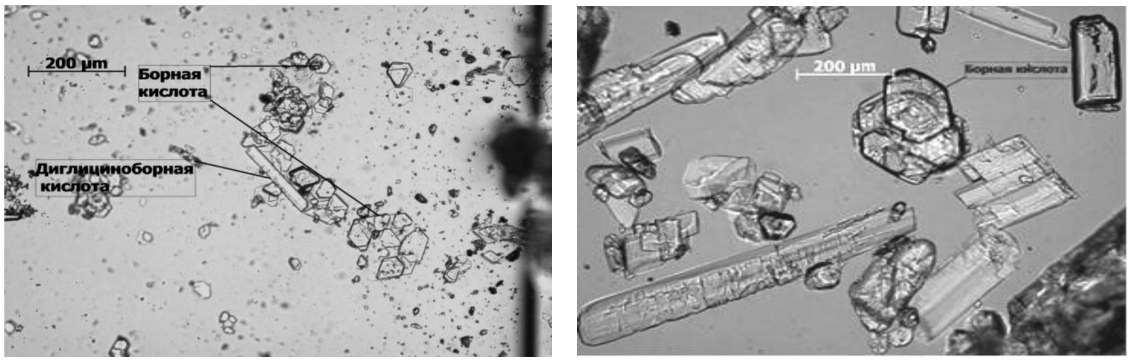


Рис. 3. Дифрактограмма L-α-глицина, борной кислоты и кристаллического осадка данных компонентов в мольных соотношениях 1:1 и 1:2



а) *б)*

Рис. 4. Кристаллы борной кислоты, глицина и ДГБК а) режим съемки николи параллельны б) сформированный кристалл ДГБК (режим съемки николи скрещены)

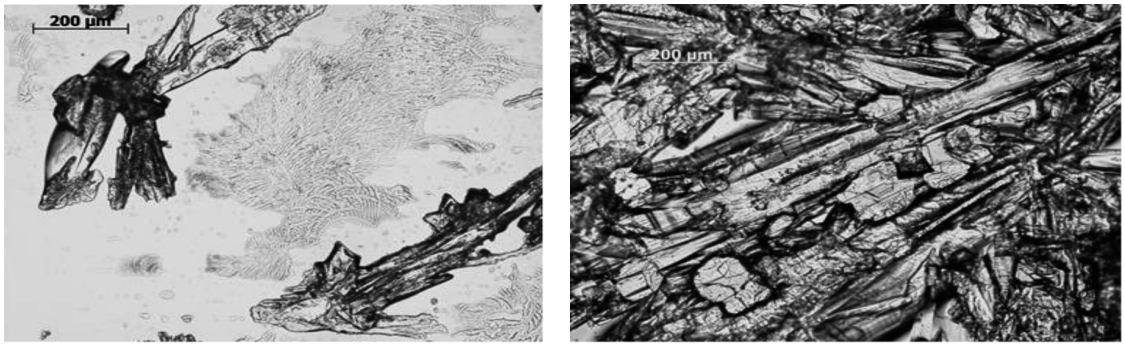


Рис. 5. Смешанные кристаллы (со-кристаллы) борной кислоты и глицина в соотношении компонентов 1:1 а) режим съемки николи параллельны б) сформированная полиморфная модификация со-кристаллов (режим съемки николи скрещены)

Выводы

1. Определены основные закономерности и условия формирования кристаллических фаз молекулярных со-кристаллов и комплексного соединения на основе борной и аминоуксусной кислот.

2. Проведены физико-химические исследования данных кристаллических материалов, которые позволили выявить и расшифровать структуру нового изомера L-α-глицина, а также представить модель пространственного расположения атомов в молекуле.

3. Методом электронной микроскопии при помощи поляризационного микроскопа были изучены особенности кристаллов диглициноборной кислоты и молекулярных кристаллов (со-кристаллов). Результаты показали, что исследуемые кристаллические фазы значительно отличаются как по форме, так и по структуре.

Список литературы / References

1. Балашева Е.В., Леманов В.В., Панкова Г.А. Акустические свойства кристаллов глицин фосфита с примесью глицин фосфата // Физика твердого тела. 2005. Т. 47. № 1. С. 176–183.

Balasheva E.V., Lemanov V.V., Pankova G.A. Acoustic properties of glycine phosphite crystals with an admixture of glycine phosphate. Physics of the Solid State. 2005. V. 47. № 1. P. 183–190. DOI: 10.1134/1.1853474.

2. Лосев Е.А., Михайленко М.А., Болдырева Е.В. Избирательность влияния карбоновых кислот на полиморфизм глицина и образование смешанных кристаллов // Доклады академии наук. 2011. Т. 439. № 6. С. 770–774.

Losev E.A., Mikhailenko M.A., Boldyreva E.V. Selective effect of carboxylic acids on glycine polymorphisms and cocrystal formation. Doklady Physical Chemistry. 2011. V. 439. № 2. P. 153–156. DOI: 10.1134/S0012501611080057.

3. Perlovich G.L., Hansen L.K., Bauer-Brandl A. The Polymorphism of Glycine. Thermo-chemical and structural aspects. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2001. V. 66. № 3. P. 699–715. DOI: 10.1023/A:1013179702730.

4. Тютрина С.В., Ващенко А.В., Зельбст Э.А., Ущаповская З.Ф., Осина М.А. Структура и некоторые свойства диглицинобората меди (II) // Успехи современного естествознания. 2016. № 12–1. С. 42–47.

Tyutrina S.V., Vashchenko A.V., Zelbst E.A., Ushchapovskaya Z.F., Osina M.A. Structure and some properties of diglycinenitrate copper (II) // Advances in current natural sciences. 2016. № 12–1 P. 42–47 (in Russian).

5. Королев В.П., Антонова О.А., Серебрякова А.Л. Термодинамика и структура водно-электролитных растворов глицина при различных температурах // Журнал структурной химии. 2015. Т. 56. № 4. С. 715–720.

Korolev V.P., Antonova O.A., Serebryakova A.L. Thermodynamics and structure of aqueous electrolyte solutions of glycine at different temperatures // Zhurnal strukturnoy khimii. 2015. V. 56. № 4. P. 715–720 (in Russian).

6. The Cambridge Crystallographic Data Centre (CCDC). [Electronic resource]. URL: https://www.ccdc.cam.ac.uk/solutions/csd-system/components/csd/ (date of access: 28.09.2019).

7. Тютрина С.В., Мясникова Н.В., Осина М.А., Григорьева О.Ю., Кузнецова Н.С. Изучение физико-химических свойств и структуры кристаллов кислоты // Успехи современного естествознания. 2017. № 12. С. 21–27.

Tyutrina S.V., Myasnikova N.V., Osina M.A., Grigoreva O.Yu., Kuznetsova N.S. The study of the physico-chemical properties and structure of crystals demimondaines acid // Advances in current natural sciences. 2017. № 12. P. 21–27 (in Russian).

8. Баделин В.Г., Тюнина Е.Ю., Межева И.Н. Термогравиметрическое исследование ароматических аминокислот и алифатических пептидов // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2014. Т. 14. № 3. С. 43–52.

Badelin V.G., Tyunina E.Yu., Mezhevoi I.N. Thermogravimetry study of aromatic amino acids and aliphatic peptides // Liquid Crystals and their Application Russian Journal. 2014. V. 14. № 3. P. 43–52 (in Russian).

УДК 551.51:519.6:504.064.2

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РАСЩЕПЛЕНИЯ И СПЕКТРАЛЬНОГО МЕТОДА ГАЛЕРКИНА К ЗАДАЧАМ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИИ

Увижева Ф.Х., Калажоков Х.Х.

Институт информатики и проблем регионального управления – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук», Нальчик, e-mail: iipru@rambler.ru

Данная работа показывает возможности и некоторые преимущества применения метода расщепления и спектральных вычислительных методов Галеркина к решению важных задач региональной экологии. Рассматривается общая постановка задачи анализа и прогноза экологической ситуации в регионе в рамках системы уравнений термогидродинамики квазигеострофической и гидростатической атмосферы и системы уравнений переноса экологически вредных примесей в виде трехфазных аэрозолей. В работе рассматривается мезометеорологическая задача для плоской Земли в системе координат (t, x, y, p). Краевые условия заданы в первом приближении при $p = p_0$ (на поверхности земли) и $p = 0$ (на верхней границе тропосферы) для вертикальной составляющей скорости. Для более точной постановки краевых условий необходим учет влияния динамики пограничного слоя атмосферы на процессы в свободной атмосфере. Для упрощения системы уравнений задачи и численного решения используются аналитические методы расщепления. Проведен качественный анализ влияния стратификации атмосферы на динамику атмосферных процессов региона. Получены математические постановки задач расчета метеорологических элементов атмосферы (давления, температуры, вертикальной скорости) для расщепленных уравнений, заданных в виде краевых задач для эллиптических уравнений с вырождением по вертикальной координате. Для решения полученных расщепленных задач используется спектральный метод Галеркина. Координатные функции найдены на основе решения спектральной задачи для вырождающихся по вертикали дифференциальных операторов. Полученные собственные функции преобразованы в координатные функции метода Галеркина. Приведены схемы решения неоднородных задач региональной экологии. Предложен алгоритм приближенного решения задач региональной экологии.

Ключевые слова: термогидродинамика, квазигеострофическая и гидростатическая атмосфера, метод аналитического расщепления, вырождающиеся эллиптические уравнения, спектральная задача, спектральный метод Галеркина

APPLICATION OF THE SPLITTING METHOD AND SPECTRAL GALERKIN METHOD TO PROBLEMS OF REGIONAL ECOLOGY

Uvizheva F.Kh., Kalazhokov Kh.Kh.

Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – Branch of Federal public budgetary scientific establishment «Federal scientific center «Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences», Nalchik, e-mail: iipru@rambler.ru

This work shows the possibilities and some advantages of using the splitting method and Galerkin spectral computational methods to solve some important problems of regional ecology. The general formulation of the problem of analysis and prediction of the ecological situation in the region in terms of the system of equations of thermohydrodynamics of quasi-geostrophic and hydrostatic atmosphere and the system of equations of transfer of environmentally harmful impurities in the form of three-phase aerosols is considered. The paper considers the mesometeorological problem for a flat Earth in the coordinate system (t, x, y, p). The boundary conditions are given in the first approximation at $p = p_0$ (on the earth's surface) and at $p = 0$ (on the upper boundary of the troposphere) for the vertical velocity component. For a more accurate statement of the boundary conditions it is necessary to take into account the influence of the dynamics of the boundary layer of the atmosphere on the processes in the free atmosphere. To simplify the system of equations of the problem and its numerical solution, analytical methods of splitting are used. A qualitative analysis of the atmospheric stratification's influence on the atmospheric processes' dynamics in the region is carried out. Mathematical statements of meteorological elements' calculation problems of atmosphere (pressure, temperature, vertical velocity) for the split equations given in the form of boundary value problems for elliptic equations with degeneration on a vertical coordinate are received. The spectral Galerkin method is used to solve the obtained split problems. Coordinate functions are found based on the solution of the spectral problem for vertically degenerate differential operators. The obtained eigenfunctions are converted into Galerkin method's coordinate functions. Schemes for solving heterogeneous problems of regional ecology are presented. An algorithm for the approximate solution of regional ecology problems is proposed.

Keywords: thermohydrodynamics, quasi-geostrophic and hydrostatic atmosphere, analytical splitting method, degenerate elliptic equations, spectral problem, spectral Galerkin method

Постановка и решение задач региональной экологии для полных уравнений динамики атмосферных процессов и кинетических уравнений физико-химических превращений примесей в виде аэрозолей относится к числу сложных задач вычислительной математики и техники. Одной из главных задач, возникающих при реализации математических моделей основных задач региональной экологии, является снижение требований к вычислительным средствам по быстродействию и объему памя-

ти. Усложняет задачу также нелинейность уравнений и негладкость их коэффициентов, что способствует поиску новых подходов в решении таких задач. Таким образом, цель настоящего исследования заключается в решении различных вопросов применения метода расщепления и спектральных вычислительных методов Галеркина к задачам (1) и (2) с учетом качественных особенностей этих задач.

В области $D = \{(t, x, y, p) : t > 0, -\infty < x < \infty, \quad -\infty < y < \infty, \quad 0 < p < p_0\}$ евклидова пространства в прямоугольной системе декартовых координат (t, x, y, p) рассмотрим задачу совместного расчета метеоэлементов атмосферы и характеристик региональной экологии в предположении, что термогидродинамические процессы среды описываются квазигеострофическими и гидростатическими уравнениями, а экологически вредные примеси представляют собой трехфазную смесь газа, жидкости и твердого вещества в виде частиц аэрозолей.

Тогда математическая постановка рассматриваемой задачи примет вид комплекса из двух задач:

1. Задача расчета метеоэлементов атмосферы региона в следующей постановке:

$$\frac{\partial \Delta H}{\partial t} + \frac{1}{l}(H, \Delta H) + \beta \frac{\partial H}{\partial x} = \frac{l^2}{p_0}\frac{\partial \tau}{\partial \xi}, \qquad (1)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} - \frac{1}{l}(T, H) - \frac{\varepsilon}{c_p} = \frac{m^2 l^2}{R p_0}\frac{\tau}{\xi},$$

$$T = -\frac{\xi}{R}\frac{\partial H}{\partial \xi}, m^2 = \frac{R^2 T}{g l^2}(\gamma_a - \gamma) = \text{const},$$

$$\tau = \frac{p}{RT}\frac{\partial H}{\partial t}, \; p = p_0, \; \tau = 0, \; p = 0.$$

2. Задача переноса экологически вредных примесей в атмосфере региона в постановке вида

$$\frac{dq_i}{dt} = \left(\frac{g}{RT}\right)^2 \frac{\partial}{\partial p}\nu p^2 \frac{\partial q_i}{\partial p} + \mu \Delta q_i + I_i, \quad i = 1, 2, 3, \qquad (2)$$

$$q_i = q_i^0 = \text{const}, \; t = 0, \; q_i = 0, \; p = 0, \; p = p_0.$$

В формулировках задач (1) и (2) использованы следующие обозначения [1]: $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ – оператор Лапласа, l – параметр Кориолиса для точек земной поверхности вдали от экватора, $H = gz$ – новая неизвестная функция, g – ускорение силы тяжести, p – атмосферное давление, $\tau = \frac{dp}{dt}$ играет роль вертикальной составляющей вектора скорости, которая описывает смещение частицы воздуха относительно изобарических поверхностей, T – температура, γ_a – адиабатический градиент температуры, c_p – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, ε – приток тепла к единице массы воздуха, который будем считать известным, R – универсальная постоянная, p_0 – среднее давление на земной поверхности, принимаемое равным 1000 мб, $\beta = \frac{\partial l}{\partial y}$ – коэффициент, учитывающий изменение параметра Кориолиса с широтой, $\varsigma = \frac{p}{p_0}$, $m^2 = \frac{R^2 T(\gamma_a - \gamma)}{g l^2}$ и изменяются по высоте незначительно, u, v – горизонтальные составляющие вектора скорости воздуха; ν, μ – коэффициенты турбулентной диффузии примесей; u, ν, τ – составляющие вектора скорости переноса примесей в атмосфере; I_i – мощности источников вредных примесей с учетом физико-химического взаимодействия примесей между собой и со средой. При определении функционального вида источников примесей учитываются выпадения тяжелых жидких и твердых вредных примесей на поверхности земли путем учета величины вертикальной скорости частиц под действием силы тяжести в уравнениях переноса аэрозолей.

Заметим, что в настоящее время накоплен значительный материал по решению задачи (1) применительно к кратковременному прогнозу погоды. Для эффективного использования результатов численного решения задачи (1) для исследования экологических процессов региона и их анализа и прогноза на основе решения задачи (2) большое значение имеет применение вычислительных методов, понижающих требования к вычислительным средствам по быстродействию и объему памяти.

Об одной схеме расщепления системы уравнений динамики квазигеострофической и гидростатической атмосферы региональной экологии по физическим процессам

Основная краевая задача для системы уравнений динамики квазигеостро-

фической и гидростатической атмосферы представляет собой сложную задачу математической физики для системы трех нелинейных уравнений в частных производных второго порядка (1). В результате решения указанной краевой задачи получим численное значение поля давления, температуры и вертикальной скорости как функции времени и пространственных координат, что связано с выполнением большого объема вычислительных работ.

Для упрощения задачи применен метод расщепления к системе уравнений краевой задачи (1) по физическим процессам. В результате несложных преобразований системы уравнений рассматриваемой задачи получим следующие три уравнения второго порядка для искомых величин:

$$\left[\frac{\partial}{\partial\xi}\xi^2\frac{\partial}{\partial\xi}+m^2\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)\right]u_1=f_1(x,y,\xi), \tag{3}$$

$$\left[\frac{\partial}{\partial\xi}\xi^2\frac{\partial}{\partial\xi}+m^2\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)\right]u_2=f_2(x,y,\xi), \tag{4}$$

$$\left[\frac{\partial}{\partial\xi}\xi^2\frac{\partial}{\partial\xi}+m^2\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)\right]u_3=f_3(x,y,\xi), \tag{5}$$

где $u_1=\frac{\partial H}{\partial t}, u_2=\frac{\partial T}{\partial t}, u_3=\tau$,

$$f_1=-m^2\left[\frac{1}{l}(H,\Delta H)+\beta\frac{\partial H}{\partial x}\right]-R\frac{\partial}{\partial\xi}\xi\left[\frac{1}{l}(T,H)+\frac{\varepsilon}{c_p}\right],$$

$$f_2=\frac{\partial}{\partial\xi}\xi^2\frac{\partial}{\partial\xi}\left[\frac{1}{l}(T,H)+\frac{\varepsilon}{c_p}\right]-m^2\left[\frac{1}{l}(T,H)+\frac{1}{l}(H,\Delta T)+\beta\frac{\partial T}{\partial x}\right], \tag{6}$$

$$f_3=-p_0\frac{R}{l^2}\left[\frac{1}{l}\Delta(T,H)+\frac{\Delta\varepsilon}{c_p}+\frac{1}{l}(T,\Delta H)+\frac{1}{l}(H,\Delta T)+\beta\frac{\partial T}{\partial x}\right].$$

Уравнения (3)–(5) представляют собой эллиптические уравнения, вырождающиеся на границе области решения задач. Различные задачи математической физики для вырождающихся эллиптических уравнений встречаются при решении задач прикладного характера (например, в газовой динамике).

Общие математические вопросы корректной постановки различных задач математической физики для вырождающихся эллиптических уравнений подробно исследованы в ряде работ различными исследователями, такими как Ф. Трикоми, Е. Хольмгрен, С. Геллерстедт, Ф.И. Франкль, П. Жермен, Р. Бадер, А.В. Бицадзе, К.Е. Бабенко, М.В. Келдыш [2], С.А. Терсенов, Хоу Чунь-И, Ян Гуан-Цзинь, Чен Лян-цзинь, О.А. Олейник, С.Г. Михлин, М.И. Вишик, Л.Д. Кудрявцев, Г. Фикер, М.М. Смирнов [3] и др.

Аналогичные вопросы применительно к вырождающимся на границе области уравнениям динамики атмосферных процессов исследованы С.В. Немчиновым (известная в литературе схема Немчинова – Садокова – Робера [4]), которые служат хорошим математическим обоснованием постановок задач по динамике крупномасштабных атмосферных процессов.

Качественный анализ влияния стратификации на динамику атмосферных процессов региона

Основные уравнения динамики квазигеострофической и гидростатической атмос-

феры в форме (3)–(5) содержат параметр состояния стратификации атмосферы в виде

$$S = \frac{R^2 T}{gl^2}(\gamma_a - \gamma).$$

В зависимости от знака параметра стратификации атмосфера может находиться в трех состояниях:

1) $s = m^2 > 0$ – устойчивое состояние;
2) $s < -m^2$ – неустойчивое состояние;
3) $s = 0$ – безразличное состояние.

Основные уравнения динамики атмосферы в виде уравнений (3)–(5), представляющих собой эллиптические уравнения и вырождающиеся по вертикальной координате на границе области решения задачи, получены в предположении, что параметр стратификации $s = m^2 = \text{const} > 0$, т.е. атмосфера стратифицирована устойчиво.

Рассмотрим случай, когда атмосфера стратифицирована неустойчиво, т.е. $s = -m^2 = \text{const} < 0$. Тогда уравнения (3)–(5) примут вид

$$\left[\frac{\partial}{\partial\xi}\xi^2\frac{\partial}{\partial\xi} - m^2\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)\right]u_1 = f_1(x,y,\xi), \quad (7)$$

$$\left[\frac{\partial}{\partial\xi}\xi^2\frac{\partial}{\partial\xi} - m^2\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)\right]u_2 = f_2(x,y,\xi), \quad (8)$$

$$\left[\frac{\partial}{\partial\xi}\xi^2\frac{\partial}{\partial\xi} - m^2\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)\right]u_3 = f_3(x,y,\xi). \quad (9)$$

Уравнения (7)–(9) представляют собой гиперболические уравнения, вырождающиеся на границе области решения задачи. Эти уравнения качественно отличаются от эллиптических уравнений.

Для вырождающихся гиперболических уравнений исследованы задачи с начальными данными, когда заданные функции гладкие [3], такими учеными, как Г. Дарбу, Ф. Трикоми, С. Геллерстедт, Ф.И. Франкль, И.С. Березин, А.В. Бицадзе, К.И. Бабенко, М. Проттер, Г. Хельвиг, М.М. Смирнов, и другими.

В заключение параграфа рассмотрим случай, когда состояние стратификации атмосферы является безразличным, т.е. $s = m^2 = 0$. Тогда уравнения (3)–(5) примут вид

$$\frac{\partial}{\partial\xi}\xi^2\frac{\partial u_1}{\partial\xi} = f_1(x,y,\xi), \quad (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial\xi}\xi^2\frac{\partial u_2}{\partial\xi} = f_2(x,y,\xi), \quad (11)$$

$$\frac{\partial}{\partial\xi}\xi^2\frac{\partial u_3}{\partial\xi} = f_3(x,y,\xi). \quad (12)$$

Уравнения (10)–(12) качественно отличаются от эллиптических и гиперболических уравнений, вырождающихся на границе области по вертикальной координате. Решение различных задач математической физики для этих уравнений находится значительно проще.

Основные эллиптические краевые задачи расчета метеоэлементов атмосферы региона

Задача А: Расчет динамических характеристик давления.

В области $D = \{(x,y,\xi) : |x,y| < \infty, 0 < \xi < 1\}$ рассмотрим эллиптическое уравнение, вырождающееся на границе области решения задачи по вертикальной координате (3):

$$\left[\frac{\partial}{\partial\xi}\xi^2\frac{\partial}{\partial\xi} + m^2\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)\right]u_1 = f_1(x,y,\xi), \quad (13)$$

где $u_1 = \frac{\partial H}{\partial t}$, $\xi = \frac{p}{p_0}$, $m^2 = \frac{R^2 T(\gamma_a - \gamma)}{gl^2}$, $p_0 = 1000$ мб – среднее давление на земной поверхности, $f_1(x, y, \xi)$ из (6).

Дополним уравнение (13) граничными условиями [1]:

$$\left(\xi\frac{\partial}{\partial\xi} + \alpha\right)u_1\Big|_{\xi=1} = -A(x,y,\xi),$$

$$\xi^2\frac{\partial u_1}{\partial\xi}\Big|_{\xi\to 0} = 0, \left(\alpha = \frac{R(\gamma_a - \gamma)}{g} \approx 0{,}1\right). \quad (14)$$

Таким образом, задача расчета динамических характеристик давления атмосферы свелась к краевой задаче (13), (14) для уравнения эллиптического типа.

Задача В: Расчет динамических характеристик температуры.

В рассматриваемой области D рассмотрим эллиптическое уравнение, вырождающееся на границе области решения задачи по вертикальной координате (4):

$$\left[\frac{\partial}{\partial\xi}\xi^2\frac{\partial}{\partial\xi} + m^2\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)\right]u_2 = f_2(x,y,\xi), \quad (15)$$

где $u_2 = \frac{\partial T}{\partial t}$, $f_2(x, y, \xi)$ из (6).

Дополнив уравнение (15) граничными условиями [1], получим

$$u_2\big|_{\xi=1} = Q(x,y),\ \ \xi u_2\big|_{\xi\to 0} = 0. \qquad (16)$$

Следовательно, задача расчета динамических характеристик температуры в атмосфере свелась к краевой задаче (15), (16) для уравнения эллиптического типа.

Задача С: Определение вертикальной составляющей скорости в атмосфере.

В рассматриваемой области D рассмотрим эллиптическое уравнение, вырождающееся на границе области решения задачи по вертикальной координате (5):

$$\left[\frac{\partial}{\partial\xi}\xi^2\frac{\partial}{\partial\xi} + m^2\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)\right]u_3 = f_3(x,y,\xi), \quad (17)$$

где $u_3 = \tau$, а вид функции $f_3(x, y, \xi)$ приведен в (6).

Уравнение (17) описывает вертикальные движения, связанные с крупномасштабной циркуляцией атмосферы. Вертикальные движения осуществляют перераспределение масс воздуха и энергии между различными уровнями атмосферы.

Как и выше, дополним уравнение (17) граничными условиями [1]:

$$u_3\big|_{\xi\to 0} = 0,\ \ u_3\big|_{\xi=1} = \tau_0(x,y). \qquad (18)$$

Таким образом, задача определения вертикальной составляющей скорости атмосферы свелась к краевой задаче (17), (18) для уравнения эллиптического типа.

Решение эллиптических краевых задач расчета давления, температуры и вертикальной скорости атмосферы спектральным методом Галеркина

Классический приближенный метод Галеркина используется как эффективный вычислительный метод для решения многих задач науки, техники и технологий.

Нахождение как аналитического, так и численного решения задач региональной экологии представляет сложную проблему в первую очередь ввиду нелинейности уравнений и негладкости их коэффициентов, поэтому актуальны новые подходы к решению таких задач. Этими же причинами обусловлено применение численных методов математической физики на основе метода Галеркина, показывающих хорошую эффективность при расчетах [5–8].

Вычислительные методы на основе метода Галеркина развиваются в двух направлениях. Первое направление – использование метода конечных элементов, то есть использование в качестве базисных функций метода Галеркина локальных полиномов невысокой степени. Второе направление – использование базисных функций, определенных в области решения рассматриваемой задачи на основе решения спектральных задач, связанных с решаемой задачей. Эти базисные функции являются глобальными и ортогональными для решаемой основной задачи.

К настоящему времени метод Галеркина с базисными функциями, построенными при решении вспомогательных спектральных задач, использовался для различных прикладных задач. Наиболее часто он применяется при решении двух классов проблем: глобальное атмосферное моделирование и фундаментальные исследования турбулентности.

В настоящей работе, имея в виду мезомасштабный анализ и прогноз атмосферных процессов региона применительно к анализу и прогнозу экологической обстановки региона, будем пользоваться методом Галеркина с базисной функцией, построенной на основе решения вспомогательных спектральных задач.

Чтобы получить представление о важнейших особенностях метода Галеркина, рассмотрим в компактной форме алгоритм решения краевой задачи для линейного дифференциального уравнения.

Пусть в области $D(x, y)$ евклидова пространства с границей ∂D рассматривается краевая задача в операторной форме:

$$L(u) = 0,\ u\big|_{\partial D} = 0. \qquad (19)$$

Для решения краевой задачи (19) методом Галеркина применяется следующий алгоритм [9]:

1. Построение базисных функций метода на основе решения спектральных задач.

2. Конструирование приближенного решения задачи в виде

$$u_N = u_0(...) + \sum_{j=1}^{N} a_j\varphi_j(...),$$

где функция u_0 выбирается так, чтобы граничные условия удовлетворялись приближенно, а φ_j – собственные функции спектральных задач, a_j – неизвестные коэффициенты, подлежащие определению.

3. Находим выражение для невязки R по формуле

$$R(a_1, a_2, ..., a_N, x) = L(u_a) = L(u_0) + \sum_{j=1}^{N} a_{ij}L(\varphi_j).$$

4. Предположим, что область D представляет гильбертово пространство со скалярным произведением

$$(f \cdot g) = \int_D f \cdot g dD.$$

5. Для определения неизвестных коэффициентов a_j решаем систему уравнений

$$\sum_{j=1}^{N} a_j (L(\varphi_j) \cdot \varphi_k) = -(L(\varphi_0) \cdot \varphi_k),$$

$$k = 1, 2, ..., N. \qquad (20)$$

Подстановка значений коэффициентов в формулу для приближенного решения дает искомое решение u_N рассматриваемой задачи (19).

Как следует из алгоритма, метод Галеркина сводит краевые задачи для уравнений в частных производных приближенно к задачам для системы обыкновенных дифференциальных уравнений или алгебраических уравнений, для которых можно использовать хорошо развитый численный метод. В случае неограниченных областей имеется возможность применять асимптотические методы решения таких уравнений. Программы для проведения вычислительных экспериментов получаются довольно простыми (стандартными) и не требуют большой затраты оперативной памяти машин.

Построение базисных функций метода Галеркина на основе решения вспомогательных спектральных задач

В области $D = \{(x, y, \xi) : |x, y| < \infty, 0 < \xi < 1\}$ точек евклидова пространства с декартовыми координатами рассмотрим эллиптический оператор расщепленных уравнений динамики квазигеострофической и гидростатической атмосферы в виде

$$Lu \equiv \frac{\partial}{\partial \xi} \xi^2 \frac{\partial u}{\partial \xi} + m^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right),$$

где $\xi = \frac{p}{p_0}$ – приведенная высота.

В цилиндрической системе координат (r, φ, ξ), связанных с прямоугольными координатами (x, y, ξ) соотношениями $x = r\cos\varphi$ $(0 \le r < \infty)$, $y = r\sin\varphi$ $(-\pi < \varphi \le \pi)$, $\xi = \xi$ $(0 < \xi < 1)$, оператор (5.1) приводится к виду

$$Lu \equiv \frac{\partial}{\partial \xi} \xi^2 \frac{\partial u}{\partial \xi} + m^2 \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \varphi^2} \right). \qquad (21)$$

Рассмотрим краевую задачу для области, ограниченной двумя параллельными плоскостями применительно к задачам А, В, С.

Предположим, что искомая функция u_1 и граничные условия задачи А (13) не зависят от φ.

Частные решения уравнения (21) ищем в виде

$$u_1 = Z(\xi) \cdot R(r),$$

где множители представляют собой интегралы дифференциальных уравнений:

$$\frac{d}{d\xi} \xi^2 \frac{dZ}{d\xi} + \lambda Z = 0, \qquad (22)$$

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} r \frac{dR}{dr} - \frac{\lambda}{m^2} R = 0. \qquad (23)$$

Найдем общее решение дифференциальных уравнений (22), (23).

Вспомогательную задачу рассмотрим для уравнения (22) в виде: найти общее решение уравнения (22) в области $0 < \xi < 1$, удовлетворяющее граничным условиям:

$$Z(0) < C = \text{const}, \; Z(1) = 0. \qquad (24)$$

Как показано в [3], общее решение уравнения (22) имеет вид

$$Z(\xi) = \xi^{-\frac{1}{2}} \left[A_1 \cos(\alpha \ln \xi) + B_1 \sin(\alpha \ln \xi) \right], \qquad (25)$$

где $\alpha = \sqrt{\lambda - \frac{1}{4}}$, A_1, B_1 – произвольные постоянные интегрирования.

Краевое условие (24) показывает, что $A_1 = 0$. Полагая несущественный в данном случае множитель $B_1 = 1$, формулу (25) можно переписать в виде

$$Z(\xi) = \xi^{-\frac{1}{2}} \sin(\alpha \ln \xi). \qquad (26)$$

Заметим, что при $\lambda = \frac{1}{4}$ $Z(\xi) \equiv 0$, а при $\lambda > \frac{1}{4}$ имеет место равенство [3]:

$$\int_0^1 [Z(\xi)]^2 d\xi = \infty.$$

В обоих случаях $Z(\xi)$ не является собственной функцией оператора вида

$$\frac{d}{d\xi} \left(\xi^2 \frac{dZ}{d\xi} \right), \qquad (27)$$

где $0 < \xi < 1$.

Вместо функции (26) рассмотрим преобразованную функцию в виде

$Z_\lambda(\xi)=\xi^{-\frac{1}{2}}\int\limits_{\frac{1}{4}}^{\lambda^2}\sin\left(\sqrt{\rho-\frac{1}{4}}\ln\xi\right)\frac{d\rho}{2\sqrt{\rho-\frac{1}{4}}}$, или $Z_\lambda(\xi)=\frac{1-\cos(\alpha\ln\xi)}{\sqrt{\xi}\ln\xi}$. Функция $Z_\lambda(\xi)$ при любом $\lambda\geq\frac{1}{4}$ обладает следующими свойствами [3]:

1) $Z_\lambda(\xi)\in L_2(0,1)$ и является собственной функцией оператора (27);

2) $Z_\lambda(\xi)$ обладает свойством полноты.

Теперь найдем общее решение дифференциального уравнения (23):

$$\frac{d^2R}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{dR}{dr}-\frac{\lambda^2}{m^2}R=0. \qquad (28)$$

Пусть в уравнении (28) $\lambda=n\pi i$, где $n=1, 2, 3,...$, $i^2=-1$. Тогда (28) перепишется в виде

$$\frac{d^2R}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{dR}{dr}+\left(\frac{n\pi}{m}\right)^2R=0. \qquad (29)$$

Общее решения уравнения (29) имеет вид

$$R=A_2I_0\left(\frac{n\pi}{m}r\right)+B_2K_0\left(\frac{n\pi}{m}r\right),$$

где $I_0\left(\frac{n\pi}{m}r\right)$ и $K_0\left(\frac{n\pi}{m}r\right)$ – цилиндрические функции мнимого аргумента, обладающие свойствами:

$$I_0\left(\frac{n\pi}{m}r\right)\Big|_{r\to0}=1,\quad K_0\left(\frac{n\pi}{m}r\right)\Big|_{r\to0}=\infty,$$

а A_2 и B_2 – произвольные постоянные интегрирования.

Для ограниченного решения задачи на оси цилиндра положим $B_2=0$ и получим

$$R=A_2I_0\left(\frac{n\pi}{m}r\right).$$

Следовательно, имеем следующую совокупность частных решений вспомогательной задачи:

$$u_N=Z_n(\xi)I_0\left(n\frac{\pi}{m}r\right),n=1,2,3,...$$

Таким образом, искомое решение однородного варианта рассматриваемой задачи A может быть построено путем суперпозиции частных решений в виде

$$u=\sum_{n=1}^{\infty}c_nZ_n(\xi)I_0\left(n\frac{\pi}{m}r\right),$$

где c_n – искомые коэффициенты.

Для определения коэффициентов c_n, $n=1, 2, 3,\ldots$ воспользуемся условием ортогональности невязки приближенного решения u_N спектральными функциями $Z_n(\xi)$ $(n=\overline{1,N})$.

Получим систему уравнений для искомых коэффициентов в виде

$$\sum_{n=1}^{N}c_n(Z_n\cdot Z_k)I_0\left(n\frac{\pi}{m}r\right)=0,$$

где $k=1, 2, 3,\ldots,N$, а $(Z_n\cdot Z_k)$ здесь символ скалярного произведения.

Подстановка значений коэффициентов $c_n(n=\overline{1,N})$ в формулу для приближенного решения u_N дает искомое решение рассматриваемой задачи.

Методы решения неоднородных задач региональной экологии

Применение спектрального вычислительного метода Галеркина для решения первой краевой задачи для однородного эллиптического уравнения с вырождением по вертикальной координате, рассмотренной выше, базируется на использовании системы частных решений уравнений, полученных при помощи разделения переменных.

Рассмотрим класс задач региональной экологии, который описывается неоднородными уравнениями и неоднородными граничными условиями.

Для простоты дальнейших рассуждений рассмотрим постановку неоднородной задачи в операторной форме: уравнение

$$\frac{du}{dt}=L(u)+f \qquad (30)$$

с граничными условиями

$$B(u)=0. \qquad (31)$$

Решение задачи (30), (31), основанное на ортонормированных полных базисных функциях $\varphi_i(x)$, введем в виде

$$u_a=\sum_{j=1}^{N+l}a_j(t)\varphi_j(x).$$

При этом N уравнений для коэффициентов a_j примут вид:

$$\frac{da_k}{dt} = (\varphi_k \cdot L(u_a)) + (\varphi_k \cdot f), k = 1,2,3,...,N,$$

а l уравнений получаются из граничных условий

$$\sum_{j=1}^{N+l} a_j(t) B(\varphi_j) = 0. \quad (32)$$

Приближенное решение u_a, полученное для уравнения в [5, с. 243–244]

$$\frac{du_a}{dt} = L(u_a) + f + \sum_{p=1}^{\infty} \tau_p(t) \varphi_{N+p}(x)$$

является точным.

Коэффициенты $\tau_1,...,\tau_l$ получаются из уравнения (32). Остальные коэффициенты τ соответствуют формулам

$$\tau_{p^*} = -\left(\varphi_{N+p^*}, L(u_a) \cdot f\right), \quad p^* = p+1, p+2,...$$

Таким образом, алгоритм решения задач региональной экологии с применением метода расщепления и спектрального метода Галеркина можно описать в следующем виде:

1. Математическая постановка задачи анализа и прогноза экологической ситуации в регионе.

2. Аналитическое расщепление задачи и анализ полученных расщепленных задач (позволяет упростить задачу, разбив ее на более простые, и требует меньшего объема вычислительных работ).

3. Анализ влияния стратификации на динамику атмосферных процессов решаемой задачи.

4. Применение к расщепленным задачам спектрального метода Галеркина (позволяет уменьшить объем вычислительных работ).

5. Расчет приближенного решения стандартными методами вычислительной математики (например, методом Рунге – Кутты).

Заключение

Полученные результаты позволяют видеть, что предложенный алгоритм является довольно эффективным способом получения приближенного решения задач анализа и прогноза экологической обстановки региона, представленных в виде системы уравнений термогидродинамики квазигеострофической и гидростатической атмосферы и системы уравнений переноса экологически вредных примесей в виде трехфазных аэрозолей. В особенности это касается случаев, когда требуется найти приближенное решение оперативно при ограниченных вычислительных возможностях и, вероятно, некорректных входных статистических данных региона.

Вопросы существования и сходимости приближенных решений, полученных методом Галеркина, подробно описаны в [10–12]. Для более подробного изучения других способов применения указанной модификации спектрального метода Галеркина можно рекомендовать работу [13]. Заметим, что если предложенные вычислительные методы или их модификации дают излишне сложные решения, то для решения региональных задач экологии целесообразно пользоваться методами Гринберга [14].

Список литературы / References

1. Марчук Г.И. Численные методы в прогнозе погоды. Гидрометиздат «Ленинград», 1967. С. 36–92.

Marchuk G.I. Numerical methods in weather forecasting. Gidrometizdat «Leningrad», 1967. P. 36–92 (in Russian).

2. Катрахов В.В., Ситник С.М. Метод операторов преобразования и краевые задачи для сингулярных эллиптических уравнений // СМФН. 2018. Т. 64. № 2. С. 211–426. DOI: 10.22363/2413-3639-2018-64-2-211-426.

Katrahov V.V., Sitnik S.M. The method of transformation operators and boundary value problems for singular elliptic equations // SMFN. 2018. T. 64. № 2. P. 211–428. DOI: 10.22363/2413-3639-2018-64-2-211-426 (in Russian).

3. Смирнов М.М. Вырождающиеся эллиптические и гиперболические уравнения. М.: «Наука», 1966. 292 с.

Smirnov M.M. Degenerate elliptic and hyperbolic equations. M.: Nauka, 1966. 292 p. (in Russian).

4. Гордин В.А. Математика, компьютер, прогноз погоды и другие сценарии математической физики. М.: Физматлит, 2010. 736 с.

Gordin V.A. Mathematics, computer, weather forecasts and second scenario mathematical physics. M.: Fizmatlit, 2010. 736 p. (in Russian).

5. Kopera M.A., Giraldo F.X. Mass conservation of the unified continuous and discontinuous element-based Galerkin methods on dynamically adaptive grids with application to atmospheric simulations. Journal of Computational Physics. 2015. Vol. 297. P. 90–103 DOI.: 10.1016/j.jcp.2015.05.010.

6. Жалнин Р.В., Ладонкина М.Е., Масягин В.Ф., Тишкин В.Ф. Применение разрывного метода Галеркина для решения параболических задач в анизотропных средах на треугольных сетках // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: математическое моделирование и программирование. 2016. Т. 9. № 3. Р. 144–151. DOI: 10.14529/mmp160313.

Zhalnin R.V., Ladonkina M.E., Masyagin V.F., Tishkin V.F. Discontinuous finite-element Galerkin method for numerical solution of parabolic problems in anisotropic media on triangle grids // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: matematicheskoye modelirovaniye i programmirovaniye. 2016. V. 9. № 3. P.144–151 (in Russian).

7. Жалнин Р.В., Ладонкина М.Е., Масягин В.Ф., Тишкин В.Ф. Решение трехмерных уравнений теплопроводности с помощью разрывного метода Галеркина на неструктурированных сетках // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки. 2015. Т. 19. № 3. С. 523–533. DOI: 10.14498/vsgtu1351.

Zhalnin R.V., Ladonkina M.E., Masjagin V.F., Tishkin V.F. Solving three-dimensional heat equations using the discontinuous Galerkin method on unstructured grids // Vestnik Samar-

skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Fiziko-matematicheskiye nauki. 2015. T. 19. № 3. P. 523–533 (in Russian).

8. Xu-hua Yuan. A well-balanced element-free Galerkin method for the nonlinear shallow water equations. Applied Mathematics and Computation. 2018. Vol. 331. P. 46–53 DOI: 10.1016/j.amc.2018.01.061.

9. Флетчер К. Численные методы на основе метода Галеркина. Пер. с англ. М.: «Мир», 1988. 352 с.

Fletcher C. A. J. Computational Galerkin Methods. 1984. 310 p. DOI: 10.1007/978-3-642-85949-6.

10. Виноградова П.В., Зарубин А.Г. Оценки погрешности метода Галеркина для нестационарных уравнений // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2009. Т. 49. № 9. P. 1643–1651.

Vinogradova P.V., Zarubin A.G. Error estimates for the Galerkin method as applied to time-dependent equations // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2009. V. 49. № 9. C. 1567–1575. DOI: 10.1134/S0965542509090115.

11. Егоров И.Е., Ефимова Е.С. О стационарном методе Галеркина для нелинейного неклассического уравнения третьего порядка по времени с меняющимся направлением времени // Математические заметки СВФУ. 2014. Т. 21. № 3. С. 19–27.

Egorov I.E., Efimova E.S. On the stationary Galerkin method for a nonlinear nonclassical third-order equation in time with a changing direction of time // Matematicheskie zametki SVFU. 2014. V. 21. № 3. P. 19–27 (in Russian).

12. Петрова А.А., Смагин В.В. Сходимость метода Галёркина приближенного решения параболического уравнения с весовым интегральным условием на решение // Известия вузов. Математика. 2016. № 8. P. 49–59.

Petrova A.A., Smagin V.V. Convergence of the Galyorkin method of approximate solving parabolic equation with weight integral condition // Russian Mathematics. 2016. V. 60. № 8. P. 42–51. DOI: 10.3103/S1066369X16080053.

13. Shen J., Tang T., Wang L.-L. Spectral Methods: Algorithms, Analysis and Applications. Berlin: Springer, 2011. 472 p. DOI: 10.1007/978-3-540-71041-7.

14. Баденко В.Л., Баденко Г.В. Специальные разделы высшей математики. Математическая физика. Учебное пособие. СПб., 2014. 55 с.

Badenko V.L., Badenko G.V. Special sections of higher mathematics. Mathematical physics. Tutorial. SPb., 2014. 55 p. (in Russian).

УДК 550.7:551.243.4:553.98(571.56)

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА AVO НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СЕЙСМИЧЕСКИХ АМПЛИТУД И АМПЛИТУД СПЕКТРА СИГНАЛА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЧАСТОТЫ

Феоктистова О.В., Захарова Г.А.

ООО «ИНГЕОСЕРВИС», Тюмень, e-mail: info@ingeos.info

Анализ изменения амплитуды сейсмического сигнала с удалением (amplitude versus offset – AVO) является традиционной технологией, используемой для выявления в сейсмическом волновом поле аномалий, связанных с УВ. Сложная и высокоорганизованная технология AVO не всегда дает однозначное толкование амплитудных аномалий и часто нуждается в комплексировании с другими методами сейсмического анализа. Одной из проблем, возникающих на пути толкования сейсмических аномалий, является отсутствие четких границ их локализации на кроссплотах «интерцепт – градиент». Эта неопределенность затрудняет выделение объекта в волновом поле или интерпретацию о его связи с углеводородами. Методика совместного анализа AVO и амплитуд спектра сигнала в зависимости от частоты позволяет определить полосу частот, в которой эффекты AVO выделяются более надежно. Расчет амплитуд спектра сигнала по частичным суммарным сейсмическим разрезам для разных углов падения отраженных волн (ближних 0^0–9^0 и дальних 19^0–27^0) и расчет диаграмм их распределений выполнялся с использованием новых технологий анализа данных, способных в интерактивном режиме выполнять статистические оценки и использовать возможности графического анализа данных в общем цикле технологии AVO. Применение комплексного подхода с использованием новых методик и инструментов анализа позволяет повысить эффективность метода AVO. Эффективность заключается в более четком выделении и оконтуривании амплитудных аномалий на сейсмических разрезах и кроссплотах AVO и возможном обнаружении новых, которые не проявлялись в записи при регистрации в широкой полосе частот.

Ключевые слова: сейсмическая аномалия, «яркое пятно», AVO, преобразование Фурье, анализ распределений, «big data»

NEW TECHNOLOGICAL SOLUTIONS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF AVO TECHNOLOGY BASED ON INTEGRATED ANALYSIS OF SEISMIC AMPLITUDES AND AMPLITUDES OF THE SPECTRUM DEPENDING ON THE FREQUENCY

Feoktistova O.V., Zakharova G.A.

LLC «INGEOSERVICE», Tyumen, e-mail: info@ingeos.info

The analysis of the amplitude versus offset (AVO) variation of the amplitude of a seismic signal is a traditional technology used to detect anomalies associated with a shock wave in a seismic wave field. The sophisticated and highly organized AVO technology does not always provide an unambiguous interpretation of amplitude anomalies and often needs to be combined with other methods of seismic analysis. One of the problems that arise in the interpretation of seismic anomalies is the lack of clear boundaries for their localization on intercept-gradient cross-rafts. This uncertainty makes it difficult to isolate an object in a wave field or to interpret its relationship with hydrocarbons. The technique of joint analysis of AVO and amplitudes of the signal spectrum depending on the frequency allows us to determine the frequency band in which AVO effects are more reliably distinguished. The calculation of the amplitudes of the signal spectrum from partial total seismic sections for different angles of incidence of the reflected waves (near 0^0-9^0 and far 19^0-27^0) and calculation of their distribution diagrams, was performed using new data analysis technologies, that can interactively perform statistical estimates and use the capabilities of graphical data analysis in the general cycle of AVO technology. The application of an integrated approach using new techniques and analysis tools can increase the efficiency of the AVO method. Efficiency consists in clearer identification and contouring of amplitude anomalies in seismic sections and cross-slots of AVO and the possible detection of new ones that did not appear in the recording during registration in a wide frequency band.

Keywords: seismic anomaly, bright spot, AVO, Fourier transform, distribution analysis, «big data»

В сейсмическом волновом поле самую высокую чувствительность к флюиду обнаруживают низкие частоты. Этот эффект был продемонстрирован еще в 2000-х гг. на основе сейсмических данных и исследований, включающих лабораторные испытания и скважинные измерения. Несколько исследователей также показали, что углеводородные резервуары имеют частотную зависимость от смещений амплитуд (AVO) [1]. С использованием методов моделирования эффектов AVO для разных частот были получены результаты, свидетельствующие о наличии различий в спектральном содержании сейсмических данных, которые могут быть использованы для улучшения идентификации AVO. Данную информацию авторы использовали для интерпретации аномалий, наблюдаемых на участках iso-частот.

Заслуживают внимания также результаты интерпретации, представленные в одной из публикаций, где автор продемонстрировал пользу фильтрации, выделив амплитудные аномалии, которые на атрибутивных сейсмических данных полного спектра выделить

затруднительно [2]. Исходя из опубликованных материалов представляется, что частота 20–25 Гц является лучшей для выявления эффектов AVO, в то время как высокие частоты, по-видимому, не способствуют выявлению эффектов AVO, и их присутствие в полном спектре данных потенциально ухудшает результат данных полного спектра.

Эти идеи сформировали предпосылку для изучения опыта, где комбинация методов SD (спектрального разложения) и AVO применялась для идентификации амплитудных аномалий на разных частотах.

Цель исследования: поиск приемов комплексирования методов SD (спектрального разложения) и AVO для идентификации амплитудных аномалий, связанных с УВ.

Материалы и методы исследования

Данная работа проводилась на базе материалов, систематизированных и обработанных в ООО «ИНГЕОСЕРВИС» (г. Тюмень).

Проведенные исследования базировались на основе сейсмической информации и данных ГИС. Выбор методов основывался на теории и опыте, изложенном в предшествующих трудах [1, 2]. Для исследовательских задач использовались программные комплексы: Hampson Russel, OpendTect, RStudio, Office.

Теоретические основы

Анализ изменения амплитуды сейсмического сигнала с удалением (amplitude versus offset – AVO) является традиционной технологией, используемой для выявления в сейсмическом волновом поле аномалий, связанных с УВ. Сложная и высокоорганизованная технология AVO не всегда дает однозначное толкование амплитудных аномалий и часто нуждается в комплексировании с другими методами сейсмического анализа.

Одной из проблем, возникающих на пути толкования сейсмических аномалий, является отсутствие четких границ их локализации на кроссплотах «интерцепт-градиент». Эта неопределенность затрудняет выделение объекта в волновом поле или интерпретацию о его связи с углеводородами.

Анализ амплитуд спектра сигнала в зависимости от частоты и удалений позволяет определить интервал частот, в котором эффекты AVO выделяются более надежно. В основе данного подхода лежит связь амплитуды сигнала с амплитудой спектра в зависимости от частоты, установленная на основе преобразования Фурье.

Спектральные функции в сейсморазведке применяются для оценки вклада энергии гармонических составляющих с определенным диапазоном частот в общую энергию изучаемого колебательного процесса.

Спектр сигнала – упорядоченный набор коэффициентов разложения сигнала:

$$Cn = 2/T*U_1 (jn\Omega),$$

где Cn – коэффициент разложения сигнала; T – период колебаний; $U_1(jn\Omega)$ – спектральная плотность сигнала в зависимости от частоты; n – номер гармоники; Ω – круговая частота первой гармоники ($2\pi/T$).

Спектральная плотность – это коэффициент пропорциональности вклада в сигнал каждой гармоники, разделенного на предельно малой интервал частот (Δω), в пределах которого вклад можно считать постоянным, рассчитывается по формуле

$$S(j\omega) = \int S(t)*e^{-j\omega t}*dt$$

(прямое преобразование Фурье),

где $S(j\omega)$ – спектральная плотность в зависимости от частоты; S(t) – сигнал; $e\text{-}j\omega t$ – сдвиг гармоники относительно периода колебаний.

Вклад в сигнал гармоник зависит от их амплитуд и сдвигов относительно периода сигнала и рассчитывается как

$$S(j\omega) * ej\omega t,$$

где $S(j\omega)$ – амплитуда гармоники на частоте ω; $ej\omega t$ – сдвиг гармоники относительно периода колебаний.

С учетом выполнения условия порога частоты дискретизации (частоты Найквиста) в рамках сейсморазведки можно получить дискретный спектр при использовании дискретного преобразования Фурье, в котором частоту остроконечного пика с некоторым приближением можно отождествить с частотой максимальной амплитуды сигнала.

Разложение сигнала по гармоническим функциям описывается уравнением

$$S(t) = 1/2\pi \int S(j\omega)*ej\omega t\, d\omega$$

(обратное преобразование Фурье),

где S(ω) – амплитуда гармоники на конкретной частоте; $ej\omega t$ – смещение ее начальной фазы относительно периода сигнала.

Таким образом, прямое и обратное преобразование Фурье служит для адекватного представления одного и того же процесса в пространстве времени и пространстве частоты.

Связь сигнала со спектром демонстрируется ниже:

$$S(t) = \sum Cn\, ejn\Omega t,$$

где $Cn\, ejn\Omega t$ – коэффициенты разложения сигнала, умноженные на фазовые множители, зависящие от частоты и сдвига.

Это уравнение позволяет по спектру определить частоту сигнала, при которой сумма его гармоник будет максимальной.

Основные принципы методики комплексирования AVO и CD (спектрального разложения) могут быть выбраны только путем моделирования и экспериментальных исследований на разбуренных площадях ввиду многообразия моделей залежей, нетрадиционности подхода, базирующегося на предположении о соответствии величины затухания в зависимости от угла падения луча подлинным эффектам AVO, и сложности самих методов.

Таким образом, возможность получения максимальной амплитуды сигнала путем его регистрации в узкой полосе частот, подобранной по исходному спектру предполагаемой ловушки, может существенно повысить эффективность AVO-анализа за счет улучшения отношения сигнал/помеха. Более яркая динамическая выразительность сигнала на ближних и дальних расстановках повысит надежность расчетных атрибутов «интерцепт» и «градиент», а также качество их графических преобразований. Возможно обнаружить новые, которые не проявлялись при регистрации записи в широкой полосе частот [2].

Результаты исследования и их обсуждение

Опробование эффективности комплексирования AVO и спектрального разложения проводилось на фактическом материале в интервалах, где наличие газа было ранее подтверждено бурением в скважинах. Параметры упругих свойств моделей залежей были получены осреднением замеренных значений каротажных диаграмм полноволнового акустического каротажа в исследуемых интервалах. Исследование эффектов AVO проводилось на профилях 3D, проходящих через тестовые скважины.

Определение интервала полосы частот, позволяющего учесть расхождение в спектрах ближних и дальних расстановок, выполнялось на основе анализа диаграмм их распределений. Эффективность полосы частот, выбранной в результате совместного анализа сейсмических амплитуд и амплитуд спектра сигнала, оценивалась по кроссплотам «интерцепт-градиент», временным сейсмическим разрезам и разрезам атрибутов. Сравнивалась яркость свечения амплитуд, разброс значений на графиках «интерцепт-градиент» и четкость контуров аномалий.

Исходя из результатов опробования по имеющемуся фактическому материалу удалось установить эффективность применения фильтрации в определенном диапазоне частот для III класса аномалий, а также выявить перспективные направления для дальнейшей разработки данного способа комплексирования. Ниже приводятся результаты экспериментальных работ.

Эффект аномального усиления амплитуд на сейсмических разрезах наблюдался в интервале, соответствующем терригенным отложениям яронгской свиты (пласты $ХМ_{6\text{-}7}$) в окрестностях скв. 3. Сейсмостратиграфическая привязка в целевом интервале газоносных пластов $ХМ_{6\text{-}7}$ яронгской свиты по скв. 3 приведена на рис. 1.

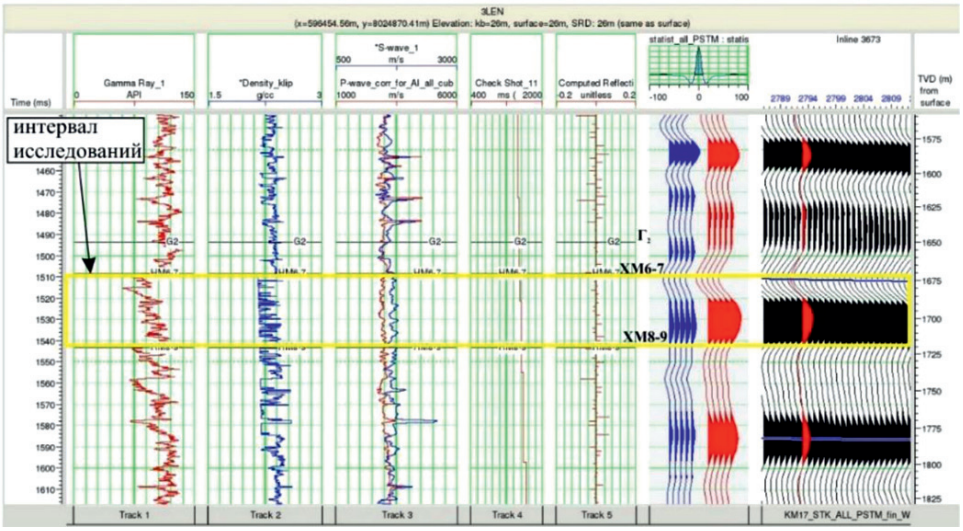


Рис. 1. Сейсмостратиграфическая привязка по скв. 3

Особенности строения продуктивных пластов яронгской свиты и их характеристики по отношению к вмещающим породам – упругие параметры и параметры ФЕС – изучались по данным каротажных диаграмм и результатам интерпретации ГИС. Из анализа каротажных данных следует, что литотипы яронгской свиты достаточно контрастны по параметрам AI (акустический импеданс) и Vp/Vs (отношение скоростей продольной и поперечной волн) и есть все основания для проведения AVO-анализа [3, 4]. По данным интерпретации коллекторы рассматриваемых свит характеризуются хорошими фильтрационно-емкостными свойствами.

По имеющимся замерам интервального времени пробега продольной и поперечной волн акустического каротажа (АКШ) были рассчитаны осредненные значения Vp, Vs, AI для схематичного представления модели продуктивного интервала газоносных пластов $ХМ_{6\text{-}7}$ во вмещающих породах (*модель 1*, рис. 2).

Анализ изменений амплитуд с удалением по сейсмограммам с ВСА показывает тренд, соответствующий тренду кривых коэффициентов отражения III класса [5].

Для определения полосы частот, в которой эффект изменения амплитуд проявляется максимально, был проведен анализ амплитуд спектра сигнала в зависимости от частоты и удалений. Из приведенной диаграммы (рис. 3) следует, что максимальный эффект AVO следует ожидать на резонансной частоте 18–20 Гц. На представленных кроссплотах «интерцепт – градиент» (рис. 4) видно, что по сейсмическим данным с фильтрацией на частоте 18–20 Гц более четко проявляются признаки наличия УВ в данном интервале разреза, в то время как высокочастотная часть данных не несет полезной информации для выявления УВ.

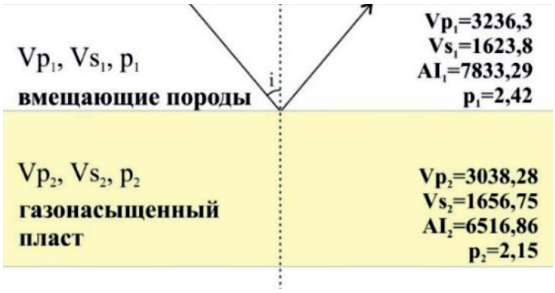


Рис. 2. Двухслойная модель среды (модель 1)

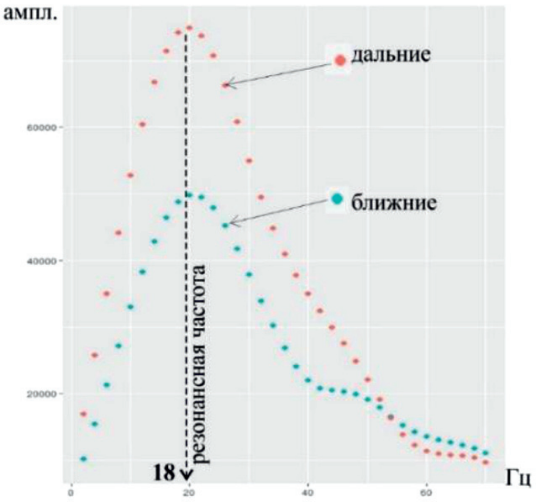


Рис. 3. Диаграмма распределения амплитуды спектра

На данной площади проводился также анализ возможности проведения эффективного комплексного подхода в интервале отложений пластов ТП. Анализ каротажных диаграмм в продуктивном интервале танопчинской свиты по скважинам рассматриваемого месторождения показал, что флюид в данных отложениях сосредоточен в тонких пропластках (в среднем 1–3 м), переслаивающихся с тонкими пропластками углей и плотных пород, которые, по отношению к вмещающим породам, характеризуются высокой акустической контрастностью. Оценка влияния затухания в тонких пластах танопчинской свиты на эффекты AVO и моделирование данного эффекта в сейсмическом волновом поле является специальной темой исследований, включающей в себя изучение влияния суммарной мощности газовых пропластков, суммарной мощности переслаивающихся пород, их отношения. Эти соотношения, судя по данным ГИС скважин изучаемого месторождения, меняются существенно, создавая в сейсмическом волновом поле динамически неустойчивую картину.

В таком случае необходимо определить тот порог, за пределами которого интерпретация AVO становится невозможной для прогноза УВ. Поэтому для выявления объектов в танопчинской свите по данной методике требуется проведение дальнейших экспериментов, включающих в себя моделирование волнового поля и набор статистики по этой и другим площадям.

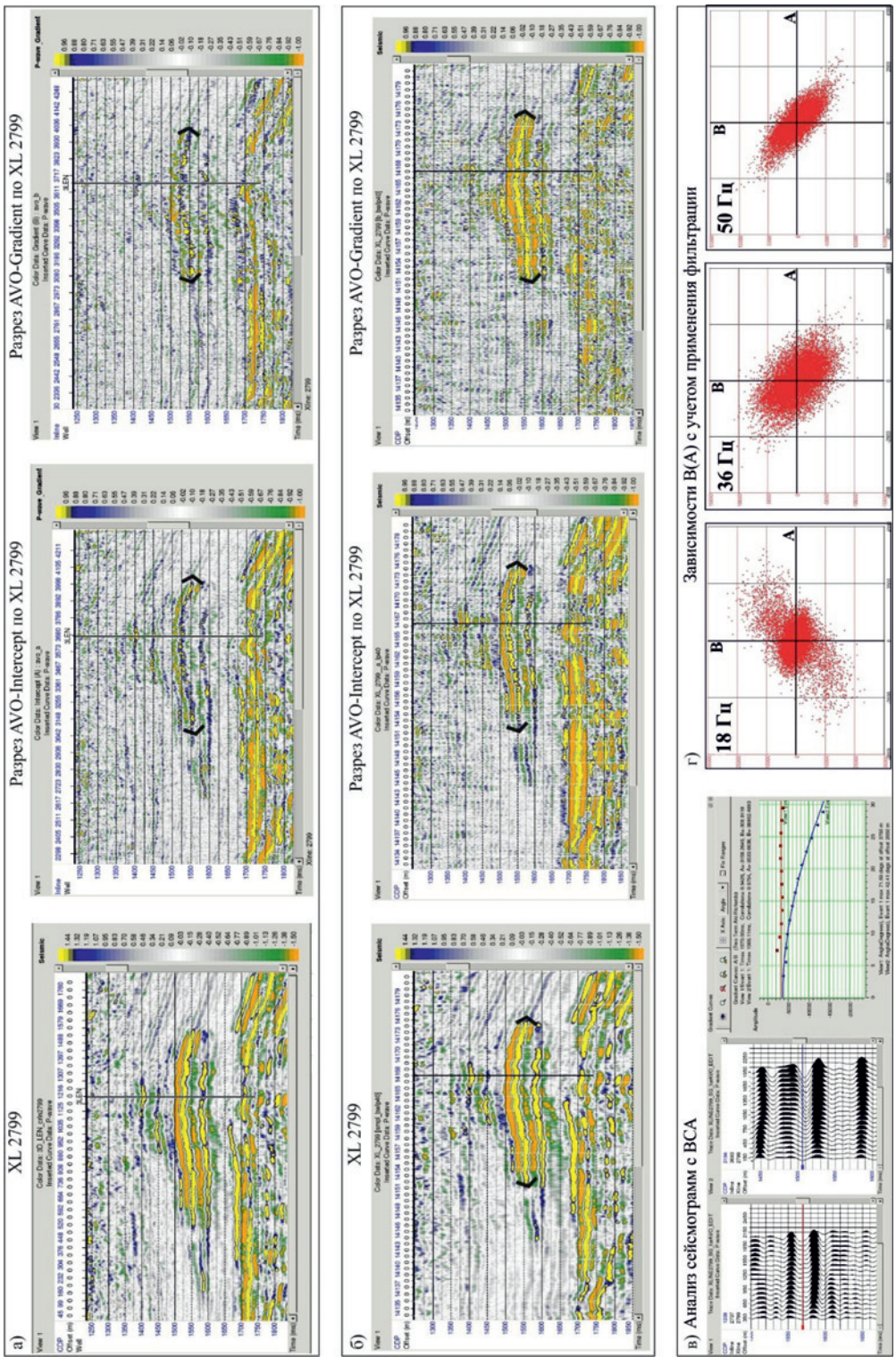


Рис. 4. Результаты AVO-анализа: а) по исходным сейсмическим данным в широкой полосе частот; б) по данным с полосовой фильтрацией; в) анализ изменений амплитуд с удалением по сейсмограммам с ВСА в окрестностях аномалии (синий) и за ее пределами (красный); г) кроссплоты «интерцепт – градиент» с учетом применения фильтрации

Выводы

Таким образом, экспериментальными работами установлено повышение эффективности технологии AVO посредством спектрального разложения. Данная методика использовалась в качестве дополнительной для более надежной классификации эффектов AVO. Эффективность методики заключается в более четком выделении и оконтуривании амплитудных аномалий на сейсмических разрезах и кроссплотах AVO и возможном обнаружении новых, которые не проявлялись в записи при регистрации в широкой полосе частот.

Экспериментальные работы с целью оценки эффективности комплексирования AVO и CD (спектрального разложения) необходимо продолжить в других сейсмогеологических условиях. Тестирование на разнообразных сейсмогеологических моделях с привлечением моделирования волнового поля позволит оценить эффективность методики в зависимости от меняющихся параметров временной мощности резервуара, слоистости отложений и меняющихся параметров ФЕС предполагаемой ловушки и вмещающих пород. Набор и обобщение результатов экспериментов позволит выработать детальные рекомендации по выбору интервалов для расчета AVO-атрибутов и подбору параметров полосового фильтра, а также позволит более четко обозначить ограничения использования метода.

Список литературы / References

1. Ren H., Goloshubin G., Hilterman F. Spectra crossplot. Leading Edge. 2007. vol. 26. № 12. P. 1562–1566. DOI: 10.1190/1.2821943.

2. Han C. Spectral Decomposition AVO attributes for identifying potential hydrocarbon-related frequency anomalies. First Break. 2019. vol. 37. № 5. P. 89–97.

3. Avseth P. Seismic Screening for Hydrocarbon Prospects Using Rock. EAGE E-Lecture. 2015. [Electronic resource]. URL: https://yandex.ru/video/preview?filmId=4484431675505921355&text=Per%20Avseth&noreask=1&path=wizard (date of access: 20.08.2019).

4. Avseth P. Rock Physics and Seismic Reservoir Prediction by Per Avseth. EAGE E-Lecture. 2013. [Electronic resource]. URL: https://yandex.ru/video/preview?filmId=15341126205829082727&text=Per%20Avseth&noreask=1&path=wizard (date of access: 20.08.2019).

5. Chopra S., John P. Castagna. AVO. Investigations in Geophysics Series. 2014. № 16. 287 p.

УДК 622.276.43

СОЗДАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ РАНЖИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛИЧЕСКОГО ЗАВОДНЕНИЯ

Чикиров Руст.Р., Мамчистова Е.И.

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: rrchikirov@gmail.com

Эффективная разработка полезных ископаемых является ключевым направлением развития всех крупных стран мира. Наибольшее внимание уделяется нефтегазовой промышленности, ввиду текущей ценности получаемых продуктов. Выделяются две основных цели в нефтяной области: разработка новых трудноизвлекаемых запасов и довыработка зрелых месторождений. Авторами предлагается рассмотреть проблематику разработки месторождений на 3–4 стадии, когда появляется необходимость применения методов увеличения нефтеотдачи. В целом для выработки продуктивных пластов нефтяных месторождений ключевое значение имеет эффективная организация системы заводнения. Данная область нефтяной отрасли характеризуется высокой изученностью. Однако до сих пор при разработке нефтяных пластов значительная доля остаточных извлекаемых запасов становится неподвижной. Это свидетельствует о низком коэффициенте извлечения, то есть малой доле добываемых запасов относительно общего объема геологических запасов углеводородов. Одним из наиболее распространённых методов повышения нефтеотдачи является проведение циклического заводнения. Стоит отметить, что на текущий момент нет чётких физико-математических универсальных критериев для подбора первоочередных пластов под проведение опытно-промышленных работ в области нестационарного заводнения. Целью данной работы является определение критериев ранжирования месторождений для получения максимального эффекта от реализации нестационарного заводнения с учетом реологических свойств нефти, геологического строения и фильтрационно-емкостных свойств целевого объекта. В ходе работы авторами был создан универсальный инструмент ранжирования месторождений по потенциальной эффективности применения циклического заводнения. Полученный продукт может быть применён повсеместно, как в рамках отечественных месторождений, так и зарубежных.

Ключевые слова: нестационарное заводнение, циклическое заводнение, изменение направления фильтрационных потоков, гидродинамические методы увеличения нефтеотдачи, оптимизация системы ППД

CREATION OF A UNIVERSAL TOOL FOR RANKING FIELDS ON THE POTENTIAL EFFECTIVENESS UNSTEADY WATERFLOODING

Chikirov Rust.R., Mamchistova E.I.

Industrial University of Tyumen, Tyumen, e-mail: rrchikirov@gmail.com

Efficient mining is a key development direction for all major countries of the World. Most attention is paid to the oil and gas industry, due to the current value of the products. There are two main goals in the oil field: the development of new hard-to-recover reserves and pre-development of Mature fields. The authors propose to consider the problems of field development at the 3-4 stage, when there is a need to use methods of increasing oil recovery. In General, for the development of productive layers of oil fields, the effective organization of the flooding system is of key importance. This area of the oil industry is highly studied. However, until now, during the development of oil reservoirs, a significant proportion of residual recoverable reserves becomes stationary. This indicates a low recovery rate, that is, a small proportion of the extracted reserves relative to the total volume of geological hydrocarbon reserves. One of the most common methods of enhanced oil recovery is cyclic flooding. It should be noted that, at the moment, there are no clear physical and mathematical universal criteria for the selection of priority layers for experimental and industrial work in the field of non-stationary flooding. The purpose of this work is to determine the criteria for ranking fields to obtain the maximum effect from the implementation of non-stationary flooding, taking into account the rheological properties of oil, geological structure and filtration and reservoir properties of the target object. In the course of the work, the authors created a universal tool for ranking deposits according to the potential efficiency of cyclic flooding. The resulting product can be used everywhere, both in domestic and foreign fields.

Keywords: unsteady waterflooding, cyclic waterflooding, a change in fluid flows, fluid-dynamic methods of enhanced oil recovery, optimization of water injection system

На сегодняшний день в России заметное количество нефтяных месторождений находится на последних стадиях разработки; несмотря на практически полную выработку извлекаемых запасов, большая часть объема начальных геологических запасов остается в залежах. Открытие новых месторождений только отчасти компенсирует объемы добываемой нефти, все более актуально становится применение эффективных методов повышения нефтеотдачи на действующих месторождениях. Одним из методов, используемых для вовлечения остаточных запасов нефти в разработку, получивший широкое применение в России и странах ближнего и дальнего зарубежья, является технология нестационарного заводнения (НЗ) [1]. В рамках данной работы необходи-

мо отметить тождественность понятий нестационарного и циклического заводнений.

Метод НЗ пластов является действенным и недорогостоящим средством увеличения нефтеотдачи пласта, как на ранней, так и на поздней стадии разработки, с возможным применением в различных геологических условиях, в том числе и для месторождений с трудноизвлекаемыми запасами. Эффективность нестационарного заводнения обусловлена проникновением воды в низкопроницаемые элементы пласта за счет увеличения давления нагнетания [2]. При этом при снижении давления нагнетания нефть из низкопроницаемых прослоев перетекает в высокопроницаемую часть коллектора. За счет перераспределения фильтрационных потоков происходит снижение обводненности добываемой продукции и тем самым вовлекаются в разработку остаточные запасы. Преимущество этого метода так же состоит в том, что во время работы добывающих скважин закачка воды в пласт полностью отсутствует, что исключает передачу давления на объект разработки даже через зоны слияния отдельных пластов и пропластков.

Изучение метода циклического заводнения (ЦЗ) идет очень давно как в теории, так и в практике [3], но до сих пор нет унифицированного инструмента для ранжирования пластов при разработке многопластовых месторождений. Для увеличения эффективности проведения циклического заводнения и сокращения трудозатрат на подбор наиболее перспективных объектов, необходимо создание универсальной методики для ранжирования пластов по потенциальной эффективности применения ЦЗ.

Цель исследований: определение ключевых геологических критериев, влияющих на эффективность циклической закачки и создание универсальной методики для ранжирования пластов с высоким потенциалом применения нестационарного заводнения.

Материалы и методы исследования

Термин нестационарное заводнение в отечественной литературе является общим понятием и подразумевает циклическое заводнение (ЦЗ), суть которого в периодическом изменении режимов нагнетания, вплоть до полной остановки закачки. В рамках настоящей статьи будем понимать тождественность НЗ и ЦЗ.

Развитие метода ЦЗ происходило не только в России, но и за рубежом [4]. Положительные результаты циклического заводнения были получены в США на месторождениях Спраберри и Мартенвил. В Германии циклическая закачка воды осуществлялась на месторождении Райнкенхаген. В бывшей Чехословакии на месторождении Грушки-Север также с успехом применялось циклическое заводнение.

В России существует немало месторождений со значительной величиной остаточных извлекаемых запасов, характеризующихся опережающей отбор от НИЗ с обводненностью в 1,5–2 раза. Основной задачей таких месторождений на текущий момент является снижение обводненности добываемой продукции с целью увеличения добычи нефти и сокращения расходов на утилизацию попутной воды. Циклическое заводнение – один из наиболее экономически выгодных методов увеличения нефтеотдачи для таких месторождений [5]. Необходимо понимание рационального выбора объекта с высоким потенциалом для применения НЗ.

На первом этапе работы были сформированы критерии эффективности системы ППД в целом. Критерии выделены на основе наработок проделанных ранее и анализе отечественной и зарубежной литературы (табл. 1).

Таблица 1

Формирование критериев ранжирования

Анализируемые критерии	Критерий ранжирования	Диапазон значений				
	Подвижность Kh/μн, [мД/(мПа*с)]	< 10	10–20	20–30	30–50	> 50
	Расчленённость, [д.ед.]	1–2	2–4	4–7	7–11	> 11
	Неоднородность по проницаемости, [д.ед.]	< 1	1–2,5	2,5–4	4–5,5	> 5,5
	ТИЗ, [тыс. т]	< 50	50–100	100–150	150–200	> 200
	Рпл(тек)/Рпл(нач) при Рпл(тек)>Рнас, [д.ед.]	< 0,2	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6–0,8	> 0,8
	Отбор от НИЗ, [%]	< 20	20–40	40–60	60–80	> 80
	Текущая обводненность/Отбор от НИЗ, [д.ед.]	< 0,8	0,8–1	1–1,5	1,5–10	> 10
	Газосодержание, [$м^3$/т]	< 30	30–65	65–100	100–150	> 150
	Нефтенасыщенная толщина, [м]	< 1	1–3	3–5	5–7	> 7

Для сформированных критериев выделены диапазоны значений. Чтобы оценить влияние ключевых критериев ранжирования на общую эффективность применения ЦЗ, были созданы более 4000 синтетических моделей с варьируемыми параметрами (подвижность, неоднородность по проницаемости, расчлененность). Для расчёта влияния всех критериев сформировано и просчитано около 2 млн опытных моделей.

Основной задачей синтетических моделей являлось выявление параметров, имеющих наибольшее влияние на КИН. Создаем и рассчитываем синтетические модели на примере первых трех ключевых критериев с учетом всех диапазонов с расчетом КИНов.

В качестве примера рассмотрим синтетическую двухфазную модель (рис. 1) с неравномерным продвижением фронта вытеснения со значениями анализируемых параметров: подвижность – 15 д.ед.; неоднородность по проницаемости – 3 д.ед.; при фиксированном параметре расчленённость равном 1.

Основной задачей данных расчётов являлось выявление параметров имеющих наибольшее влияние на КИН. Для этого по каждому из варьируемых параметров вычислялся максимальный прирост ΔКИН, то есть разница между КИН с применением ЦЗ и КИНа по базовому варианту. Примеры результатов расчёта приведены в табл. 2.

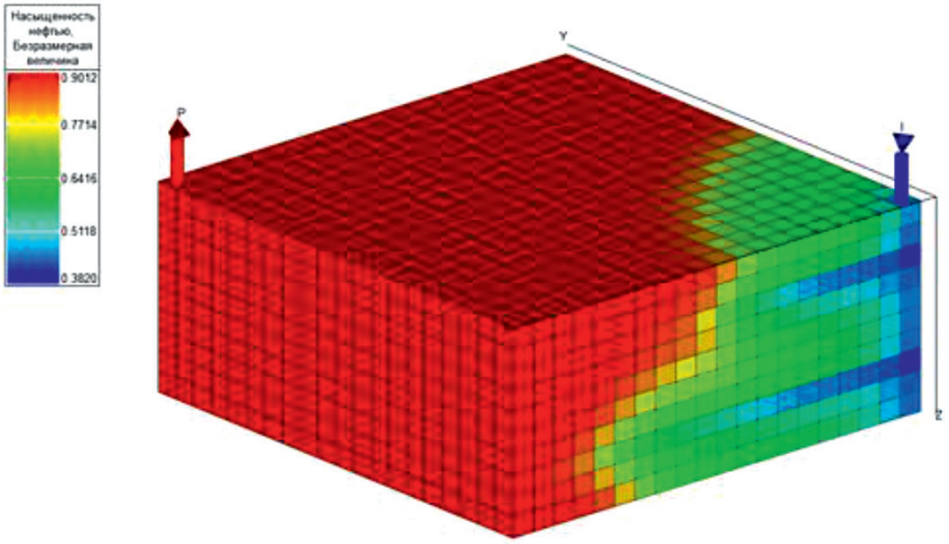
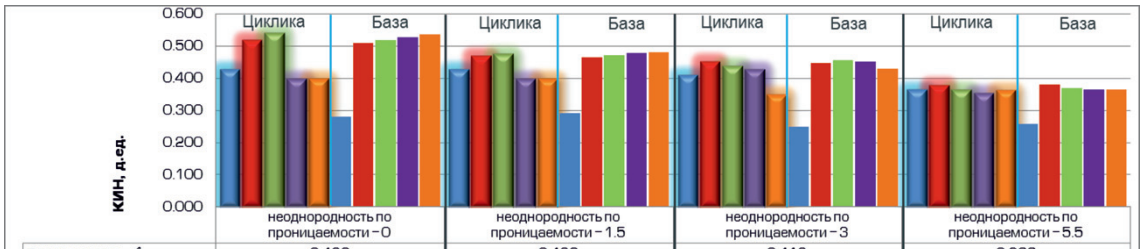


Рис. 1. Синтетическая модель. Фиксированный параметр расчленённость = 1

Таблица 2

Результаты расчётов на синтетических моделях



	неоднородность по проницаемости – 0	неоднородность по проницаемости – 1.5	неоднородность по проницаемости – 3	неоднородность по проницаемости – 5.5
подвижность – 1	0.429	0.429	0.412	0.366
подвижность – 15	0.520	0.472	0.453	0.380
подвижность – 25	0.543	0.477	0.441	0.366
подвижность – 40	0.400	0.400	0.429	0.355
подвижность – 100	0.400	0.400	0.350	0.364
подвижность (БАЗА) – 1	0.279	0.291	0.250	0.258
подвижность (БАЗА) – 15	0.508	0.465	0.447	0.379
подвижность (БАЗА) – 25	0.517	0.471	0.456	0.369
подвижность (БАЗА) – 40	0.527	0.478	0.451	0.365
подвижность (БАЗА) – 100	0.536	0.481	0.428	0.364

Далее присваиваем вес влияния. Критерию, имеющему максимальный ΔКИН, т.е. оказывающему максимальное влияние, присваивается максимальный вес. Всем остальным параметрам веса присваиваются соразмерно их влиянию по ΔКИНу. Принципиальная схема проведённых расчётов на рис. 2.

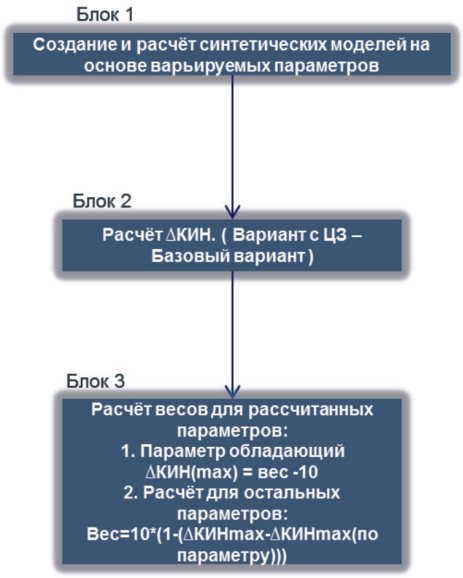


Рис. 2. Схема расстановки весов

Итоговая расстановка весов, согласно результатам синтетического моделирования, представлена на рис. 3. Наибольшее влияние на эффективность применения циклического заводнения оказывают подвижность системы, неоднородность коллектора по проницаемости и расчленённость пласта.

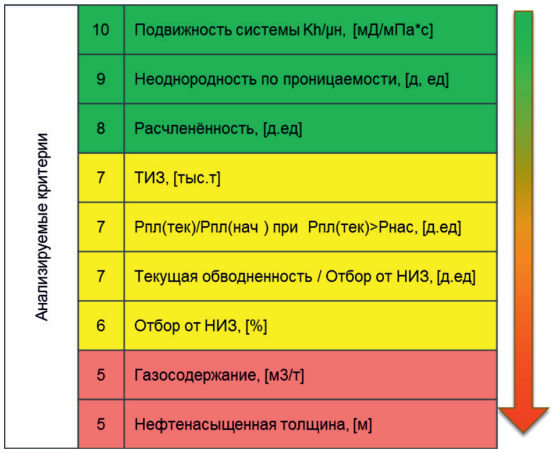


Рис. 3. Результирующая таблица весов

Наибольшее влияние на эффективность циклической закачки имеет подвижность. Применение НЗ в системах с подвижностью более 40 д.ед. показало наименьшую эффективность. Изменение анализируемых критериев оказывает значительное влияние на конечную нефтеотдачу пласта. Это позволяет сделать вывод о правильности выбора данных параметров в качестве ключевых, влияющих на эффективность применения ЦЗ.

Таблица 3

Результаты апробации инструмента ранжирования

Месторождение	Объект	Итоговая оценка	Критерии ранжирования								
			Подвижность системы	Неоднородность по проницаемости	Расчлененность	ТИЗ	Рпл.тек./ Рпл.нач.	Тек.обв / Отбор от НИЗ	Отбор от НИЗ	Газосодержание	Нефтенасыщенная толщина
Месторождение 1	1	4.4	🟢	🟢	🟢	🟢	🟡	🟢	🟡	🟢	🟢
Месторождение 2	2	4.3	🟡	🟢	🟡	🟢	🟢	🟢	🟡	🟢	🟢
Месторождение 3	3	4.2	🟡	🟢	🟢	🟢	🟡	🟢	🟡	🟢	🟡
Месторождение 4	4	4.0	🟢	🟢	🟢	🟢	🟡	🟢	🟡	🟡	🟡
Месторождение 5	5	3.8	🟡	🟡	🟢	🟢	🟡	🟢	🟡	🟡	🟡
Месторождение 6	6	3.6	🟡	🟡	🟢	🟡	🟢	🟢	🔴	🟢	🟡
Месторождение 7	7	3.5	🟡	🟡	🟡	🟢	🟡	🟢	🟡	🟢	🟡
Месторождение 8	8	1.9	🔴	🔴	🟡	🟢	🟡	🟢	🟡	🟢	🟡

Результаты исследования и их обсуждение

Результатом выполненных работ стало создание инструмента ранжирования по потенциальной эффективности применения циклического заводнения. Учёт наиболее значимых критериев объекта разработки с учётом весов влияния позволит максимально эффективно определить первоочередные пласты для апробирования циклического заводнения в рамках любых активов углеводородного сырья. Описанный инструмент реализован на основе программы VBA Excel. Вводными данными для начала работы является геолого-физическая характеристика пластов и текущие данные состояния разработки.

Опробование инструмента ранжирования проведено на реальных месторождениях Волго-Уральского региона (табл. 3). В группу с максимальной оценкой попали 4 объекта разработки.

Для наиболее перспективного объекта разработки выполнены технико-экономические расчёты и проведена реализация ЦЗ. Результаты описаны в предыдущей статье авторов «Нестационарное заводнение как один из методов увеличения нефтеотдачи пластов с повышенной вязкостью нефти» [6].

Заключение

Подводя итог проделанной работы, необходимо сделать следующие выводы:

1. Создание полноценного унифицированного инструмента ранжирования позволит наиболее точно и эффективно определять наиболее перспективные объекты разработки для применения циклического заводнения.

2. Апробация инструмента ранжирования позволяет говорить об эффективности использованных методик при создании продукта. Объект, выбранный посредством проведённых расчётов, характеризуется высокой эффективностью применения ЦЗ.

Список литературы / References

1. Чалов С.В., Поплыгин В.В. О применении циклического заводнения на нефтяном месторождении // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология, нефтегазовое и горное дело. 2010. № 1. С. 4–8.

Chalov S.V., Poplygin V.V. On the application of cyclic flooding in the oil field // Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiia, neftegazovoe i gornoe delo. 2010. № 1. P. 4–8 (in Russian).

2. Романова М.Ю., Синцов И.А. Анализ эффективности нестационарного заводнения как гидродинамического метода увеличения нефтеотдачи пластов в Западной Сибири // Фундаментальные исследования. 2015. № 11–4. С. 735–738.

Romanova M.Iu., Sintsov I.A. Analysis of the efficiency of unsteady flooding as a hydrodynamic method of increasing oil recovery in Western Siberia // Fundamental research. 2015. № 11–4. P. 735–738 (in Russian).

3. Владимиров И.В. Нестационарные технологии нефтедобычи (этапы развития, современное состояние и перспективы). М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2004. 216 с.

Vladimirov I.V. Non-stationary oil production technologies (stages of development, current state and prospects). M.: OAO «VNIIOENG», 2004. 216 p. (in Russian).

4. Heriot-Watt Institute of Petroleum Engineering Reservoir engineering. Edinburgh, Heriot-Watt Institute of Petroleum Engineering, 2010. 925 p.

5. Тараканова О.Э, Галиуллин М.М., Дубовецкая Н.В. Нестационарное заводнение как способ повышения эффективности реализованной системы поддержания пластового давления // Нефтяное хозяйство. 2013. № 11. С. 49–53.

Tarakanova O.E, Galiullin M.M., Dubovetskaya N.V. Non-stationary water injection as a way of waterflood system performing // Neftianoe khoziaistvo. 2013. № 11. P. 44–49 (in Russian).

6. Чикиров Руст.Р., Мамчистова Е.И., Чикиров Русл.Р. Нестационарное заводнение как один из методов увеличения нефтеотдачи пластов с повышенной вязкостью нефти // Успехи современного естествознания. 2018. № 8. С. 191–196.

Chikirov Rust.R., Mamchistova E.I., Chikirov Rusl.R. Unsteady Waterflooding as an EOR Method for High-viscous Oil Reservoirs // Advances in current natural sciences. 2018. № 8. P. 191–196 (in Russian).

УДК 553.3/.4:553.04:528.8(571.63)

НЕОТЕКТОНИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ И БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ МИНЕРАГЕНИЯ ПРИМОРЬЯ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

[1,2]Шевырев С.Л.

[1]Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток;
[2]Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, e-mail: shevirev@mail.ru

Прогноз месторождений полезных ископаемых и постановка поисковых работ на коренные и россыпные рудные объекты требуют уточнения глубины пострудного размыва рассматриваемых территорий, что делает актуальным распознавание и картирование неоген-четвертичных поднятий. Наряду с индикацией относительных значений эрозионного среза, локальные поднятия в ряде случаев ассоциируются с рудоносными интрузивными массивами, не вскрытыми эрозией. Территория исследования, дислокации которой сформированы в мезо-кайнозое вследствие субдукции океанической плиты Изанаги под окраину Восточной Азии, продолжает испытывать неотектонические перемещения сложной кинематики, а также различного генезиса и амплитуды. Они выражаются в неравномерной эрозии и обнажении фрагментов фундамента среди перекрывающих террейны осадочно-вулканогенных образований и сшивающих их интрузий. Присутствующие на территории постмагматические гипо-, мезо- и эпитермальные благороднометалльные месторождения характеризуются определенной контрастной сменяемостью с глубиной минерагенических ассоциаций и геохимических ореолов. В рамках проведенного исследования анализом цифровой модели рельефа SRTM выделены аномалии разности базисных поверхностей второго и третьего порядков эрозионной сети с оценкой их тектонической позиции, которые в общем случае отвечают локальным поднятиям. Обсуждаются модели формирования локальных поднятий различного генезиса, также предложена их классификация. На основе детектированных локальных поднятий, с помощью метода кластеризации k-средних, составлена карта районирования территории исследований, включая Сихотэ-Алинское орогенное сооружение и Ханкайский массив. Предложенное зонирование отражает время формирования выделенных зон, степень денудации и характер минерагенической специализации. Изложенная методология может быть задействована при формировании новых подходов к оценке минерально-сырьевого потенциала площадей.

Ключевые слова: геодинамика, вулканические пояса, дистанционное зондирование, эрозионная сеть, геоинформатика

NEOTECTONIC ZONING AND PRECIOUS METAL MINERAGENY OF PRIMORIE ON REMOTE SENSING DATA

[1,2]Shevyrev S.L.

[1]Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok;
[2]Far Eastern Federal University, Vladivostok, e-mail: shevirev@mail.ru

Prognosis of mineral resources and organization of prospective works for native and placer ore objects require determining of post ore denudation range of the areas under consideration. It makes detecting and mapping of the Neogene-Quaternary uplifts important. Along with this, local uplifts are often associated with the presence of intrusions, uncovered by the erosion. Dislocations of the Asian continental margin were formed in Meso-Cenozoic as the result of the subduction of the Izanagi oceanic plate under boundary of the Eastern Asia, continues to undergo tectonic movements of complicated kinematics, different genesis and amplitude. They are expressed in differentiated erosion cut and exposition of terrane basement among overlying sedimentary-volcanogenic complexes and later intrusions. Post magmatic hypo-, meso- and epithermal gold-silver deposits have typical contrast sequence of mineragenic associations and geochemical haloes which change with depth. During given research anomalies of base difference surfaces of 2nd and 3rd orders were detected for the erosion network by analysis of digital relief model SRTM. Their tectonic position was determined as related to the tectonic uplifts in the most cases. Models of the local uplifts formation of different genesis were discussed, with proposals of classification approaches. On a base of detected local uplifts, method of k-means allowed to commit zoning of research area, including Sikhote-Alin folded belt and Khanka massif. Given zoning reflects time of discreet zones forming, their level of erosion and mineragenic specialization. Proposed methodology could be applied in forming of the new approaches to assessment of areas mineral potential.

Keywords: geodynamics, volcanic belts, remote sensing, erosion network, geoinformatics

Территория исследований представляет собой коллаж террейнов, объединённых последовательностью и условиями формирования геологических комплексов Сихотэ-Алинского горно-складчатого сооружения и Ханкайского массива, осложнённых на востоке перекрывающими и сшивающими образованиями Восточно-Сихотэ-Алинского вулкано-плутоногенного пояса (ВСАВПП) [1]. В пределах территорий распространения производных мезо-кайнозойского вулканизма, степень и тип рудной минерализации во многом обусловлен составом и парагенезисом подстилающих и вмещающих осадочно-метаморфических пород и прорывающих их магматических

комплексов [2]. Это подтверждается вертикальной зональностью оруденения и коррелируется с глубиной денудации минерализованных площадей.

Целью настоящего исследования является изучение локальных геоморфологически выраженных поднятий, их классификация и прогнозное минерагеническое районирование Сихотэ-Алинской орогенной системы. Достижение этой цели обеспечивается подбором дистанционной основы на территорию исследования (юг Сихотэ-Алиня в пределах Приморского края), включающей цифровую модель рельефа и результаты гравиметрической съемки; разработкой вычислительного аппарата для дешифрирования порядков водотоков, расчета поверхностей базиса эрозии и их разностей; построением карт локальных максимумов разности базисных поверхностей; районированием (кластеризацией) территории исследования по геоморфологическим аномалиям; интерпретацией выделенных районов и определением их благороднометалльного потенциала.

Геологическое строение и историко-минерагенические особенности Сихотэ-Алинского горно-складчатого сооружения

Площадь исследуемой территории Приморского края, соответствующая листам L-(52), 53 и (K-52, 53), в геологическом отношении представляет собой Ханкайский массив, супертеррейновое сооружение Сихотэ-Алиня и ВСАВПП, сформированные в результате активного взаимодействия системы «континент – океан» с эпизодами субдукционного и трансформного режимов. Несмотря на полуторавековую историю наблюдений и геологического изучения, разведанные запасы благородных металлов здесь существенно ниже, чем на сопредельных территориях [3]. На площади Сихотэ-Алинского горно-складчатого сооружения описаны Нижне-Амурский и Кемский благороднометалльные пояса, а также Благодатненский, Аскольдовский, Нижнетаежный рудные узлы, как и отдельные Au-Ag месторождения и рудопроявления [1; 4] (рис. 1). Благороднометалльные месторождения и проявления приурочены к грейзенизированным и скарнированным интрузивным массивам, а также к субвулканическим телам и малым интрузиям и обладают выраженной латеральной и вертикальной зональностями. Примером такого зонального распределения многометалльной минерализации является месторождение серебра Кумирное, детально описанное в работе [4].

Площадная дифференциация территории Сихотэ-Алинского супертеррейна по степени интенсивности производных рудообразующих процессов возможна анализом вещественного состава и возраста до-, син- и пострудных геологических комплексов. Сведения об унаследованной позднекайнозойской тектонической активности, распределении препарированных денудацией или перекрытых рудоносных интрузивов могут быть получены анализом значений разности базисных поверхностей эрозионной сети.

История формирования южной и центральных частей ВСАВПП, длящаяся около 90 млн лет, включает три главных этапа магматической активности: *позднемеловой (~90–70 млн лет)*, *маастрихт-раннемиоценовый (~69,4–19,0 млн лет)* и *поздний миоцен-плиоценовый (~16–4 млн лет)*. Первый и второй магматические этапы связывают с субдукцией, заключительный – с рифтогенезом [5].

Материалы и методы исследования

Связь металлогении и локальных поднятий, в том числе неотектонических, обосновывалась многими исследователями, в том числе А.А. Гавриловым, Н.Т. Кочневой, Р.И. Никоновой, Ю.Н. Размахниным, И.Н. Томсоном, Г.И. Худяковым, Ю.П. Юшмановым и другими [6]. Однако следует отметить, что данные исследования использовали методологический аппарат, лишенный современных ГИС-технологий, особенно в части обнаружения локальных поднятий, их картографирования и дальнейшего районирования.

Для детектирования зон новейшей активизации и площадной дифференциации Сихотэ-Алинского горно-складчатого сооружения автором используется модернизированный метод анализа базисных поверхностей Философова [7; 8], на основе анализа спутниковой цифровой модели рельефа (ЦМР), обрабатываемой с помощью научных языков программирования Python (включая библиотеки Gdal, Numpy и Pandas) и Matlab.

Современная гидросеть, отраженная на ЦМР SRTM, содержит информацию об интенсивности эрозионного процесса территории и ее изменениях, вызванных колебаниями уровня моря, активизацией складчатого горообразования, а также рифтогенезом.

В соответствии с методом базисных поверхностей наиболее древние водотоки территории имеют наивысший, а менее древние – меньший порядок, при этом современные водотоки, не имеющие притоков, представляют первый порядок. Заложение гидросети территории отражает время наиболее значительных тектонических или климатических изменений, приведших к смене циклов осадконакопления.

Алгоритм детектирования локальных поднятий и районирования описан ниже (таблица).

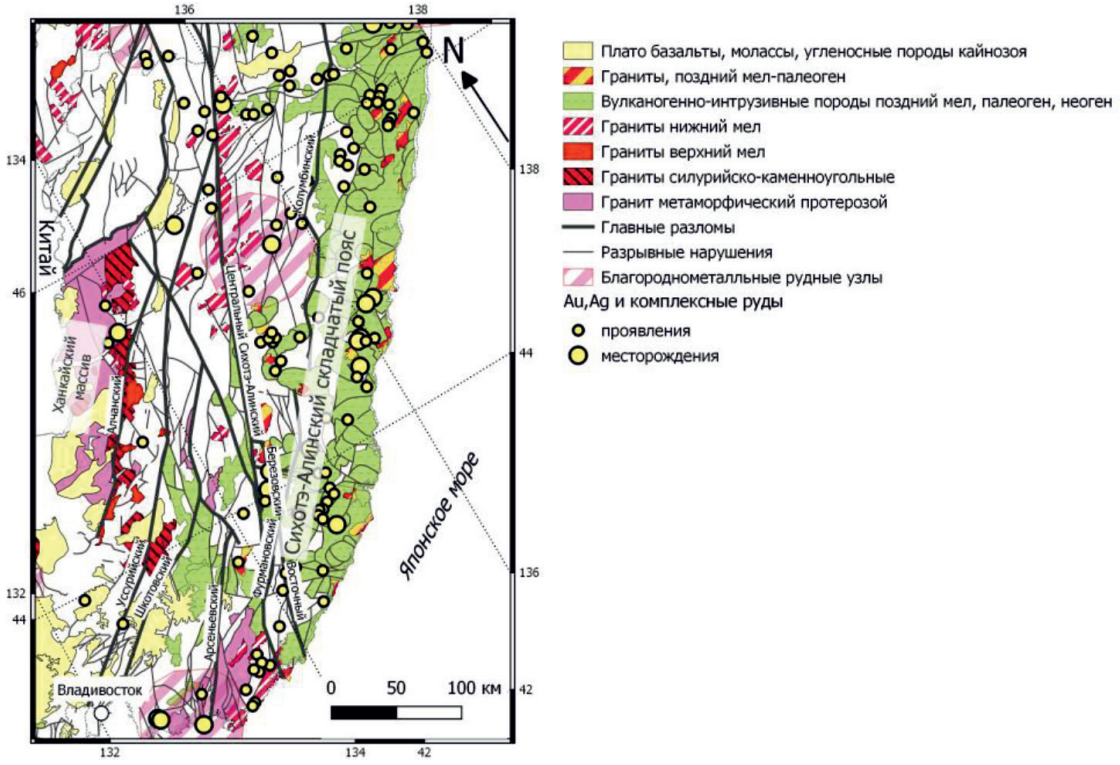


Рис. 1. Структурно-вещественные комплексы исследованной территории юга Дальнего Востока России и ее благороднометалльная минерагения

Алгоритм расчета разности базисных поверхностей и нахождения локальных неотектонических поднятий

Шаг	Процедура
1	Подбор спутниковой ЦМР SRTM и геологических данных на обширную территорию южного и центрального Сихотэ-Алинского складчатого сооружения
2	Детектирование эрозионной сети на ЦМР, использован Matlab Topo Toolbox, отличающийся высоким качеством распознавания ЦМР SRTM для залесенных территорий
3	Выделение водотоков 2-го и 3-го порядка
4	Интерполяция поверхностей базиса эрозии 2-го и 3-го порядков
5	Расчёт разностной поверхности 2–3 порядков
6	Оконтуривание положительных аномалий базисных поверхностей пороговым отсечением
7	Нахождение точек центроидов локальных аномалий разности базисных поверхностей и присвоение им значений площади кластера
8	Классификация положительных локальных аномалий базисных поверхностей по значениям площади
9	Кластеризация пространственного распределения центроидов с учетом класса площади
10	Нахождение границ кластеров и районирование территории исследования
11	Интерпретация выделенных районов с учетом анализа развитых в их пределах магматитов и реконструируемых тектонических событий

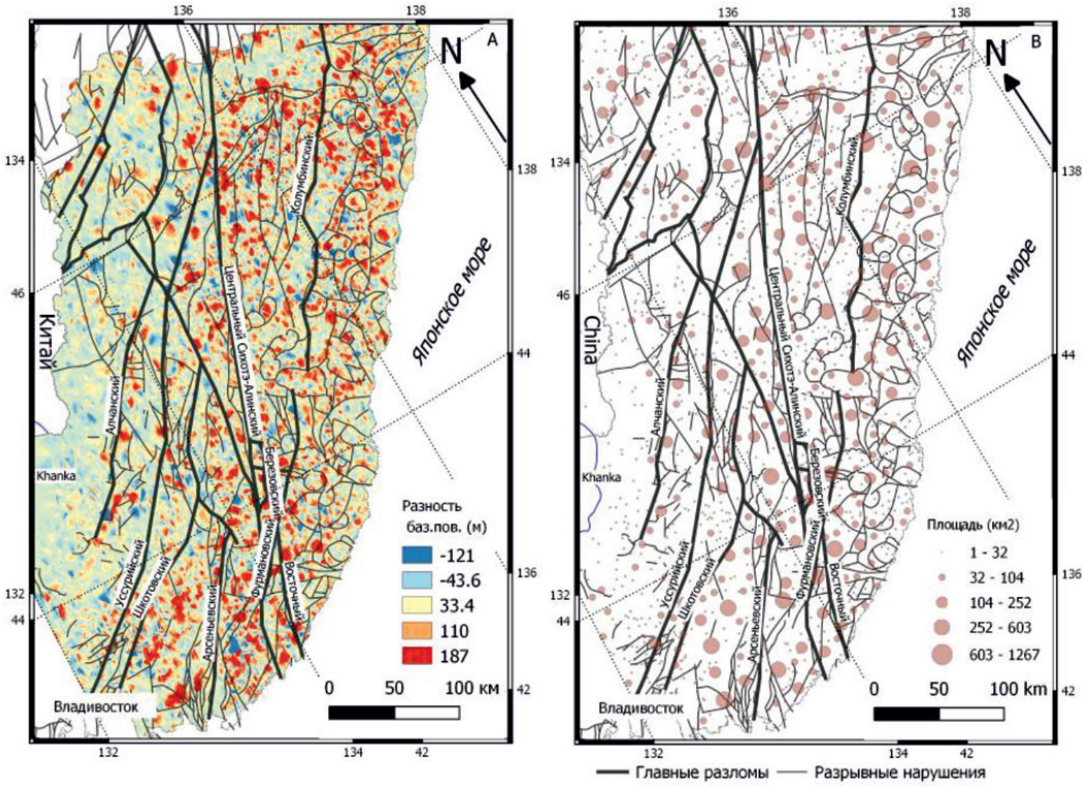


Рис. 2. Карта разности базисных поверхностей 2-го и 3-го порядков (А) и положение локальных максимумов поднятий. Шкалирование точек проведено пропорционально площади выделенных поднятий (В)

Применение указанного алгоритма позволило получить карту разностей базисных поверхностей 2-го и 3-го порядков (рис. 2).

Результаты исследования и их обсуждение

Анализом карты разности базисных поверхностей и локализованных поднятий проведено районирование территории (рис. 2, А, В).

Базисные эрозионные поверхности [6] и их разность демонстрируют проявление неотектонических движений в течение времени формирования порядков гидросети и неравномерность развития процессов денудации. Генезис выявленных в пределах площади исследований поднятий раскрывается их сопоставлением с подстилающими структурно-вещественными комплексами, а также геофизическими данными.

Так, положительные аномалии разности базисов эрозии, соответствующие линейным зонам пониженных значений поля силы тяжести, пространственно сопряжённые с разломами, предположительно связаны с изостатическим процессом воздымания разуплотненных пород зон дробления. Локальные изометрические поднятия, выраженные в положительных аномалиях силы тяжести и контрастных линейных аномалиях магнитного поля, связаны с обнаженными и, вероятно, слабо перекрытыми интрузивными массивами основного состава. Остаточные поднятия выражены в локальных максимумах разности базисных поверхностей на фоне погружения сопряжённых блоков.

Миоцен-четвертичный диапазон возрастов оцениваемых структур соответствует времени формирования эрозионной сети, начало развития которой означает для Сихотэ-Алиня завершение этапа крупных структурно-тектонических перестроек территории [9]. Квартер ознаменовался развитием локальных структур и заключительными эпизодами вулканизма на юго-западе Сихотэ-Алинского пояса [10].

Анализ карты разности базисных поверхностей второго и третьего порядков в сопоставлении с известными полями позднекайнозойских вулканитов, препари-

рованными раннемеловыми интрузиями и глубинными разломами, позволил уточнить роль процессов активного воздымания и денудации в формировании современного рельефа Сихотэ-Алинского складчатого пояса. Дешифрированные локальные аномалии включают эрозионные останцы, магматогенные или изостатические поднятия в разуплотненных приразломных зонах, метасоматически изменённые изостатически флотирующие массивы среди дислоцированных комплексов. Для дальнейшего определения генезиса картированных положительных аномалий использовался набор формальных признаков: структурно-вещественные ассоциации пород, близость крупных разломов, геоморфологические характеристики эрозионного рельефа, а также материалы авторских полевых наблюдений. Локальные поднятия, связанные с изостатическим (гравитационным) вязкопластическим перераспределением масс в земной коре, вызываются изменением плотности пород при меланжировании в сосдвиговых зонах и взаимодействии с подземными водами и гидротермальными растворами. Грейзенизация приводит к уменьшению объема и увеличению плотности изначальной породы [11], аргиллизация, каолинизация, альбитизация – к существенному снижению плотности [12–14].

Для районирования территории по уровню ее денудации применялся метод k-средних (k-means) [15]. Этот метод позволяет учитывать данные точек-центроидов локальных поднятий, содержащих значения максимума разностной поверхности в ее пределах. Районирование производится на основе заданного произвольного количества кластеров до сходимости с принятым геодинамическим районированием территории. Для центроидов детектированных локальных поднятий были выделены 4 зоны (рис. 3, а), различающиеся плотностью структур и их площадью (рис. 3, б). Они типизируются по вероятному происхождению поднятий: 1 – бимодальные вулканогенно-осадочные покровы олигоцен-миоцена на северо-востоке территории; 2 – эродированные раннемеловые абиссальные массивы с наличием вулканогенных поднятий и плато на юго-западе; 3 – эрозионные останцы на территории Ханкайского массива (северо-запад); 4 – глыбовые деформации, эродированные абиссальные интрузии в центральной части площади исследований.

Высотная амплитуда базисных поверхностей территории составила около 300 м.

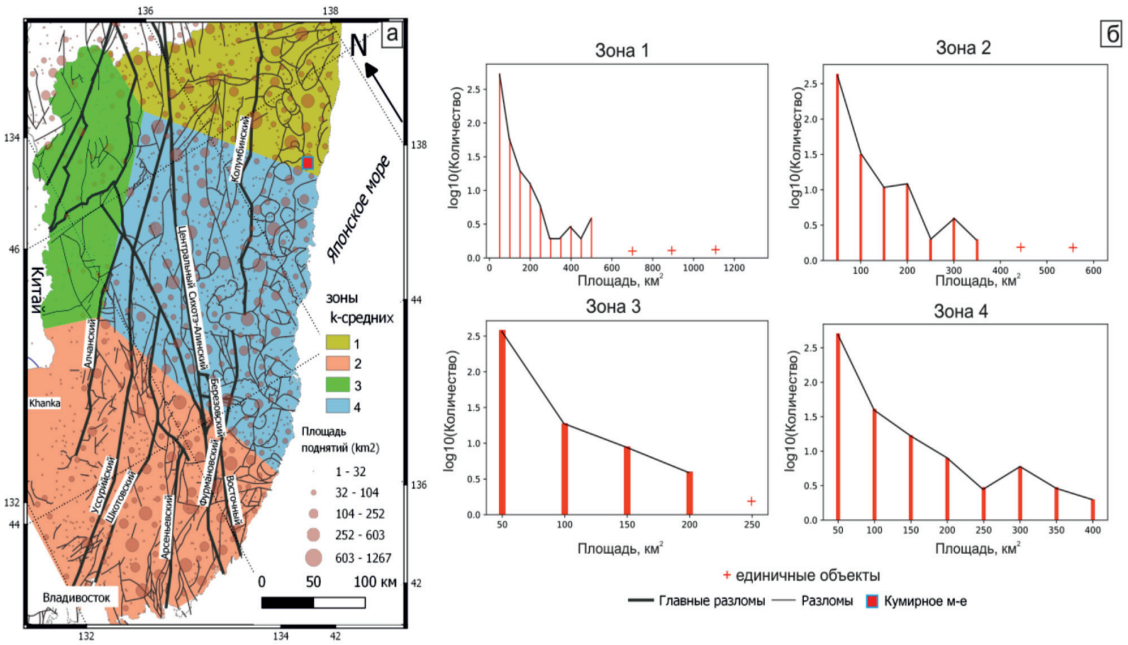


Рис. 3. Районирование территории (k-means) по положениям центроидов и амплитуде локальных поднятий (а), статистика счета и площадей локальных поднятий в пределах отдельных зон (б)

Например, на месторождении Кумирное, находящемся в зоне 1, такой перепад высот обеспечил последовательную смену оловомедно-серебряной минерализации (Sn-Cu-Ag) на отметках 150–200 м полиметалльно-серебряной (Zn-Pb-Ag) на отметках 200–500 м, и золото-серебряной (Au-Ag) (отметки 500–700 м) в приводораздельной части [4]. Выполненное нами районирование территории исследований в общем виде описывает уровень эрозионного среза и возраст структур, а следовательно, имеет минерагеническое значение.

Выводы

В результате проведённого исследования установлена латеральная зональность Сихотэ-Алинского горно-складчатого сооружения, обусловленная плотностью и взаимным расположением положительных аномалий разности базисных поверхностей 2-го и 3-го порядков. Выявленные с помощью алгоритма k-средних зоны получили свою геодинамическую интерпретацию, для чего учитывалось преобладание и взаимное расположение объектов определённой площади в пределах рассматриваемой зоны. Также устанавливалось их соответствие таким объектам магматических поясов, как эродированные абиссальные интрузивы или вулканические центры. Выделенные зоны соответствуют участкам Сихотэ-Алинского подвижного пояса, в пределах которого в разной степени проявились горообразовательные процессы и коровое гравитационное перераспределение масс, способствующее формированию локальных аномалий разности базисных поверхностей, рассматриваемых в качестве поднятий.

Список литературы / References

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: В 2 кн. / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.

Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii: Vol. 1, 2 / Editor A.I. Hanchuk. Vladivostok: Dal'nauka, 2006. Vol. 1. 572 p. (in Russian).

2. Sillitoe R.H. Porphyry copper systems. Economic Geology. 2010. Vol. 105. № 1. P. 3–41. DOI: 10.2113/gsecongeo.105.1.3.

3. Khomich V.G., Boriskina N.G., Santosh M. A geodynamic perspective of world-class gold deposits in East Asia. Gondwana Research. 2014. Vol. 26. P. 816–833. DOI: 10.1016/j.gr.2014.05.007.

4. Ивин В.В., Медведев Е.И., Фатьянов И.И. Зональность многометаллльного оруденения Кумирного месторождения серебра (Северное Приморье) // Успехи современного естествознания. 2017. № 3. С. 85–91.

Ivin V.V., Medvedev E.I., Fatyanov I.I. Zoning of multimetall ore-bearing of Kumirnoe silver deposit (Northern Primorye) // Advances in Current Natural Sciences. 2017. № 3. P. 85–91 (in Russian).

5. Martynov Yu.A., Golozubov V.V., Khanchuk A.I. Mantle diapirism at convergent boundaries (Sea of Japan). Russian Geology and Geophysics. 2016. Vol. 57. Issue 5. P. 745–755. DOI: 10.1016/j.rgg.2015.09.016.

6. Гаврилов А.А. История и основные результаты геолого-геоморфологических исследований территории юга Дальнего Востока // Вестник ДВО РАН. 2009. № 4. С. 164–178.

Gavrilov A.A. History and basic results of the geologic-geomorphological studies in the Southern Far East of Russia // Vestnik of the far east branch of the russian academy of sciences. 2009. № 4. P. 164–178 (in Russian).

7. Shevyrev S. Neotectonics, remote sensing and erosion cut of ore-controlling structures of the Mnogovershinnoe gold-silver deposit (Khabarovsk Krai, Russian Far East). Ore Geology Reviews. 2019. Vol. 108. P. 8–22. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018.11.016.

8. Философов В.П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Саратов: СГУ, 1975. 232 с.

Philosophov V.P. Fundamentals of morphometric method for search of tectonic structures. Saratov: SGU, 1975. 232 p. (in Russian).

9. Мартынов Ю.А., Ханчук А.И. Кайнозойский вулканизм Восточного Сихотэ-Алиня: результаты и перспективы петрологических исследований // Петрология. 2013. Т. 21. № 1. С. 94–108. DOI: 10.7868/S0869590313010068.

Martynov Yu.A., Khanchuk A.I. Cenozoic volcanism of the eastern Sikhote Alin: Petrological studies and outlooks. Petrology. 2013. Vol. 21. № 1. P. 85–99. DOI: 10.1134/S0869591113010049.

10. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Лист (L-(52), 53; (K-52, 53). Оз. Ханка. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2011. 684 с.

State geological map of Russian Federation. Scale 1:1000000. (3rd generation). Sheet (L-(52), 53; (K-52, 53). Lake Khanka. Text description. SPb.: VSEGEI, 2011. 684 p. (in Russian).

11. Launay G., Sizaret S., Guillou-Frottier L., Gloaguen E., Melleton J., Pichavant M., Champallier R., Pinto F., Ferraz P. Greisenisation and Permeability Changes in Granitic Intrusions Related to Sn-W Deposits: Case of Panasqueira. Conference paper. SGA, 2017. [Electronic resource]. URL: https://www.researchgate.net/publication/316861346_Greisenisation_and_Permeability_Changes_in_Granitic_Intrusions_Related_to_Sn-W_Deposits_Case_of_Panasqueira (date of access: 15.07.2019).

12. Brimhall G.H., Dietrich W.E. Constitutive mass balance relations between chemical composition, volume, density, porosity, and strain in metasomatic hydrochemical systems. Results on weathering and pedogenesis. Geochim. Cosmochim. Acta. 1987. Vol. 51. P. 567–587. DOI: 10.1016/0016-7037(87)90070-6.

13. Frolova J., Ladygin V., Rychagov S., Zukhubaya D. Effects of hydrothermal alterations on physical and mechanical properties of rocks in the Kuril–Kamchatka island arc. Engineering Geology. 2014. Vol. 183. P. 80–95. DOI: 10.1016/j.enggeo.2014.10.011.

14. Kaur P., Chaudhri N., Hofmann A.W., Raczek I., Okrusch M., Skora S., Baumgartner L.P. Two-Stage, Extreme Albitization of A-type Granites from Rajasthan, NW India // Journal of Petrology, 2012. Vol. 53. Issue 5. P. 919–948. DOI: 10.1093/petrology/egs003.

15. Vanderplus J. Python Data Science Handbook. Essential Tools for Working with Data. O'Reilly Media, 2016. 548 p.

ОБЗОРЫ

УДК 550.424:551.578.46

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА СОСТАВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ

[1,2]Котова Е.И.

[1]ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова» РАН, Архангельск, e-mail: ecopp@yandex.ru;
[2]Северо-Западное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Архангельск

Снежный покров играет фундаментальную роль в наземных экосистемах, поскольку влияет на количество и качество воды, глобальные биогеохимические циклы и свойства почвы. Состав снежного покрова является одним из факторов, воздействующих на гидрохимический режим территории. Формирование химического состава снежного покрова в российской Арктике происходит под влиянием естественных и антропогенных факторов, их соотношение зависит от расстояния от крупных промышленных центров и особенностей формирования гидрометеорологического режима территорий и акваторий. Целью исследования являлась количественная оценка степени влияния естественных и антропогенных факторов на состав снежного покрова Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ). В работе выделено 14 факторов формирования состава снежного покрова в Арктике: состав атмосферных осадков, сухое осаждение, загрязнение атмосферного воздуха, количество оттепелей, продолжительность залегания снежного покрова, метеорологический потенциал загрязнения, циркуляция атмосферы, морской аэрозоль, дальний перенос, ветровой режим, количество и режим осадков, влагозапас, рельеф (открытость местности, экспозиция склонов), местные антропогенные источники поступления поллютантов. Выделение факторов проводилось автором в процессе изучения процесса формирования состава снежного покрова, в том числе обзора литературных источников. Оценка степени влияния различных факторов на состав снежного покрова АЗРФ проведена с помощью метода экспертных опросов и метода анализа иерархий. По результатам обработки данных проведенного экспертного опроса наибольшее влияние на формирование химического состава снежного покрова в российской Арктике оказывают местные антропогенные источники поступления поллютантов и состав атмосферных осадков. Наименьший вклад оказывают дальний перенос и ветровой режим.

Ключевые слова: снежный покров, Арктика, экспертные методы

ASSESSMENT OF FACTORS INFLUENCE ON THE COMPOSITION OF SNOW COVER IN THE RUSSIAN ARCTIC

[1,2]Kotova E.I.

[1]N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research RAS, Arkhangelsk, e-mail: ecopp@yandex.ru;
[2]The Northwest Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Arkhangelsk

The composition and condition of snow cover has a significant impact on terrestrial and aquatic ecosystems. Formation of snow cover composition in the Russian Arctic occurs under influence of natural and anthropogenic factors. The importance of factors depends on the distance from large industrial centers and the peculiarities of hydrometeorological regime of territories and water areas. The purpose of the study was to assess the degree of natural and anthropogenic factors influence on the composition of snow cover in the Arctic zone of the Russian Federation (AZRF). The work identified 14 factors of snow cover composition formation in the Arctic: composition of atmospheric precipitation, dry deposition, atmospheric air pollution, amount of thaw, duration of snow cover occurrence, meteorological potential of pollution, atmospheric circulation, sea aerosol, long-range transport, wind regime, amount and regime of precipitation, moisture, relief (openness of terrain, exposure of slopes), local anthropogenic sources of arrival of pollutants. The identification of factors was carried out by the author studying the process of snow cover composition formation, including the review of literary sources. Using the method of expert surveys and the method of hierarchy analysis, the degree of influence of various factors on the composition of the snow cover of the AZRF was assessed. According to the expert survey, the most influence on the formation of the chemical composition of snow cover in the Russian Arctic is the local anthropogenic sources of pollutants and the composition of atmospheric precipitation. Long-range transport and wind mode contribute the least.

Keywords: snow cover, Arctic, expert methods

Снежный покров играет фундаментальную роль в наземных экосистемах, поскольку влияет на климат Земли, количество и качество поверхностных вод, глобальные биогеохимические циклы и свойства почвы. Состав снежного покрова является одним из факторов, воздействующих на гидрохимический режим территории [1]. Состав и состояние снежного покрова может оказать существенное влияние на состояние не только наземных, но и водных экосистем. Формирование химического состава снежного покрова в российской Арктике происходит под влиянием множества естественных и антропогенных факторов, их соотношение зависит от расстояния от крупных промышленных центров и особенностей формирования гидрометеорологического режима территорий

и акваторий [2, 3]. Существенный разброс статистических характеристик ионного состава снега и значений концентраций ионов в снежном покрове указывает на пространственную и временную неоднородность химического состава снежного покрова, многофакторность процесса его формирования на данной территории [4].

Цель исследования: количественная оценка степени влияния естественных и антропогенных факторов на состав снежного покрова Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ). Для достижения цели были выделены и описаны факторы формирования химического состава снежного покрова в российской Арктике, а также проведена оценка количественного вклада факторов посредством весовых коэффициентов.

Материалы и методы исследования

Выделение факторов проводилось автором в процессе изучения процесса формирования состава снежного покрова [5], в том числе обзора литературных источников [6–8]. Обобщение сделано в рамках данной статьи.

Количественный вклад факторов можно оценить посредством весовых коэффициентов. Для такого рода задач, когда факторы выражаются в различных единицах, наиболее эффективными являются экспертные технологии. В данной работе весовые коэффициенты рассчитывались методом анализа иерархий (МАИ), основанном на парном сравнении факторов [9].

Всего в опросе участвовало 12 экспертов, из них 2 доктора географических наук, 8 кандидатов наук, 2 сотрудника Росгидромета. Темы научных работ и характер работы экспертов непосредственно связаны с рассматриваемым вопросом.

Все результаты опросов принимались к рассмотрению, поскольку встроенный в МАИ критерий качества работы экспертов, как показано в работах [10–12], таковым не является.

Результаты исследования и их обсуждение

В работе выделено 14 факторов формирования состава снежного покрова в Арктике: состав атмосферных осадков, сухое осаждение, загрязнение атмосферного воздуха, количество оттепелей, продолжительность залегания снежного покрова, метеорологический потенциал загрязнения, циркуляция атмосферы, морской аэрозоль, дальний перенос, ветровой режим, количество и режим осадков, влагозапас, рельеф (открытость местности, экспозиция склонов), местные антропогенные источники поступления поллютантов.

Состав атмосферных осадков. Первым этапом загрязнения снежного покрова является загрязнение снежинок во время их образования и выпадения на местность – так называемое влажное выпадение. Но, несмотря на то, что снег – это выпавшие осадки, количественные значения ионного состава снежного покрова не имеют тесной корреляции с количественным ионным составом атмосферных осадков, за исключением отдельных компонентов [5].

Сухое осаждение. Загрязняющие вещества также попадают на подстилающую поверхность и при условии отсутствия мокрых осадков; этот процесс выведения из атмосферы загрязняющих соединений называется сухим выпадением [13]. Кроме того, снежный покров сам по себе не является инертной средой, он участвует в газообмене с прилегающим воздухом. По данным [14] рыхлый снег слоем 30 см на площади 1 га за сутки в состоянии поглотить 3–5 кг сернистого газа и столько же аммиака. С ноября по январь на рассматриваемой территории формируются основные запасы снега, в связи с чем основной вклад в формирование химического состава снежного покрова вносит вымывание веществ из атмосферы. В остальные месяцы предполагается преобладание сухого осаждения [5].

Загрязнение атмосферы. Загрязняющие вещества из атмосферы попадают в снежный покров, как в период выпадения осадков, так и в результате сухого осаждения. При этом следует иметь в виду, что чем более загрязнен атмосферный воздух, тем более интенсивными и продолжительными должны быть осадки, для того, чтобы полностью очистить атмосферный воздух [15, 16].

Подтаивание. Изменение химического состава снежного покрова происходит при таянии снега. При весеннем снеготаянии концентрации иона водорода, сульфатов и свинца в первых порциях талой воды до 6,5 раз превышают концентрацию во всем объеме. Наибольший запас загрязняющих веществ в снеге теряется при таянии только 35 % всего снега [13].

Продолжительность залегания снежного покрова. В первую очередь продолжительность залегания снежного покрова определяет общее время, за которое происходит накопление веществ в снежном покрове [17]. Кроме того, от длительности хо-

лодного периода зависит отношение между сухим и влажным выпадениями.

Метеорологический потенциал загрязнения. Расположение территории в зоне низкого и умеренного метеорологического потенциала загрязнения, с одной стороны, способствует очищению атмосферы, а с другой – значительному загрязнению осадков и, как следствие, снежного покрова в результате интенсивного вымывания примесей из атмосферы [5].

Циркуляция атмосферы. Важную роль в переносе химических веществ, в том числе дальнем, играет циркуляция атмосферы. Рассматриваемый регион одинаково доступен как теплым влажным воздушным массам, поступающим с Атлантического океана, так и холодным массам, вторгающимся с Арктического бассейна. Значительно реже сюда проникают воздушные массы с Черного и Средиземного морей. Наиболее интенсивна циклоническая деятельность осенью и зимой [5]. В результате особенностей циркуляции атмосферы на территории Арктики происходит разгрузка воздушных потоков от тех загрязнений, которые они накопили в среднеширотных районах [18].

Морской аэрозоль. Арктическая суша находится под влиянием океана. При этом влияние океана не ограничивается переносом тепла и влаги. С воздушными массами переносятся морские аэрозоли, основную часть которых составляют водорастворимые соли. В то же время многочисленные данные свидетельствуют, что с удалением от берега моря концентрация растворимых солей в атмосферных осадках быстро уменьшается [19]. На континентах влияние массопереноса морских солей ограничено узкой полосой и не распространяется на внутриконтинентальные области. Иная ситуация существует на небольших островах, вся территория которых находится под воздействием массопереноса с моря [19]. В западном секторе Арктики, находящемся под влиянием Нордкапского течения, большие акватории Баренцева моря весь год остаются свободными ото льда и служат источником морских аэрозолей и в зимний период [4]. Вследствие влияния морских аэрозолей в рассматриваемом районе происходит обогащение снежного покрова ионами натрия, хлорид-ионами и сульфат-ионами [20].

Дальний перенос. Исследования последних 40 лет, выполненные учеными разных стран, показали, что в северных широтах, особенно в Арктике, в загрязнении природной среды большую роль играет перенос веществ воздушными массами [4, 21]. При этом различные загрязнители обнаружены в сотнях и тысячах километров от источников [22]. В снежном покрове удаленных фоновых районах Арктики были обнаружены пыльца, споры и др. растительный материал, минеральные частицы, поступающие сюда за счет дальнего эолового переноса. Среднее значение вертикального потока аэрозолей в Арктике составляет около 600 мг/м^2 в год [23]. Например, случай выпадения пыли, окрашивающей снег в желтый цвет на территории Архангельской области, Республики Коми и Ненецкого автономного округа, был зафиксирован 25–26 марта 2008 г. В результате детальных исследований было установлено, что основным источником пыли являются полупустынные и степные районы Северо-Западного Казахстана, Волгоградской и Астраханской областей, Калмыкии, удаленных от района выпадения на 1500–2500 км. К чисто морскому аэрозолю над Белым морем, генерируемым непосредственно самим морем, добавляется аэрозоль континентальный, имеющий в зимнее время в основном антропогенное происхождение, и пылевой, принесенный из южных районов. Повешенные концентрации серы и аммонийного азота, фиксирующиеся в регионах Колымы и Чукотки, предположительно обусловлены вулканической деятельностью и переносом веществ с Камчатского п-ва.

Ветровой режим. Ветровой режим влияет как на характер распределения снега, так и на перенос веществ от источников. Уровень концентрации ТМ, находящихся в атмосфере в аэрозольном состоянии, во многом определяется именно ветровым режимом. Из-за сноса снега с полей его масса существенно возрастает в лесах, оврагах, балках. Дальность переноса снежных частиц в умеренных широтах может достигать 3 км, на севере и в Арктике, где средняя скорость выше, эти расстояния могут быть и большими.

Количество и режим осадков. Количество осадков на состав снежного покрова влияет неоднозначно. С одной стороны, осадки, вымывая вещества из атмосферы, приводят к их накоплению в снеге. В то же время при увеличении интенсивности осадков уменьшается коэффициент концентрирования веществ в осадках. Более продолжительные снегопады приводят лишь к увеличению влагозапаса и, как следствие, «разбавлению» состава снежного покрова [15].

Результаты ранжирования факторов

Ранг	Фактор	Среднее значение весового коэффициента	Коэффициент вариации,%
1	Местные антропогенные источники поступления поллютантов	0,0999	67
2	Состав атмосферных осадков	0,0967	50
3	Метеорологический потенциал загрязнения	0,0963	78
4	Загрязнение атмосферного воздуха	0,0943	41
5	Количество и режим осадков	0,0795	60
6	Сухое осаждение	0,0720	44
7	Морской аэрозоль	0,0707	63
8	Влагозапас	0,0697	86
9	Циркуляция атмосферы	0,0611	31
10	Продолжительность залегания снежного покрова	0,0599	44
11	Рельеф: открытость местности (лес/поле), экспозиция склонов	0,0561	68
12	Количество оттепелей	0,0522	85
13	Дальний перенос	0,0515	59
14	Ветровой режим	0,0400	53

Влагозапас. Механизм испарения снега, при котором запас загрязняющих веществ в снеге остается, а влагозапас уменьшается, может служить одной из причин обогащения снежного покрова относительно атмосферных осадков. Испарение достигает максимума в начальный период таяния. Наибольшее испарение со снежной поверхности отмечается как раз на северо-западе ЕТР [13].

Рельеф: открытость местности (лес/поле), экспозиция склонов. Рельеф территории влияет на процессы осаждения химических веществ, переноса воздушных масс и др. Количество твердых осадков возрастает с наветренной стороны возвышенностей. Кроме того, рельеф местности влияет на неоднородность влагозапаса в снеге, его перенос ветром.

Местные антропогенные источники поступления поллютантов. Содержание элементов в снеге и их выпадения колеблются в широком диапазоне главным образом в зависимости от степени антропогенного влияния. Снежный покров вокруг городов и промышленных центров оказывается загрязненным аэрозольными продуктами на больших площадях [24]. Площадь аномальных полей концентраций таких ореолов и заключенная в них масса загрязняющих веществ закономерно связаны с величиной выбросов и длительностью периода накопления. До недавнего времени Арктика рассматривалась в качестве «эталона чистоты» для сравнения с антропогенно деформированными экосистемами. На самом деле нетронутость арктических экосистем оказалась лишь предположением. Вклад регионов в загрязнение различен. Предприятия г. Норильска – мощный источник диоксида серы, способный оказывать влияние на отдаленные территории. Значимый объем диоксида серы поступает от предприятий Мурманской и Архангельской областей. Основной объем выбросов оксидов азота приходится на источники Ямало-Ненецкого АО и Красноярского края [4].

Результаты обработки экспертных суждений мнений методом анализа иерархий предоставлены в таблице

Весьма заметный разброс экспертных суждений не должен удивлять: в большинстве экспертных опросов отмечается существенное расхождение оценок экспертов, причём это не зависит от их квалификации [25]. На это обстоятельство обратил внимание ещё в конце XIX в. французский психолог Гюстав Лебон, изучавший результаты суждений профессиональных сообществ по вопросам, являющимся областью их компетенции [26]. Но их усреднённые оценки являются статистически устойчивыми и в малой степени зависят от разброса суждений [11].

По данным экспертного опроса наибольшее влияние на формирование химического состава снежного покрова в российской Арктике оказывают местные антропогенные источники поступления поллютантов и состав атмосферных осадков. Наименьший вклад оказывают дальний перенос и ветровой режим. В то же время исследования по данному вопросу [4, 6, 7] показали, что дальний перенос играет существенную роль в процессе формирования

состава снежного покрова, особенно в западном секторе российской Арктики, и его вклад может быть весьма значительным, как это имело место в марте 2008 г. [22], когда мощными потоками воздуха пыль была перенесена из южных регионов Европы на север и покрыла многие тысячи квадратных километров. Но влияние этого фактора носит непостоянный характер, и сила влияния меняется во времени и пространстве значительно, что, видимо, было принято во внимание экспертами.

Заключение

Полученные оценки степени влияния различных факторов на состав снежного покрова АЗРФ позволяют не только лучше понять роль влияния различных факторов на формирование химического состава осадков, но и непосредственно использовать их при разработке математических моделей процессов переноса загрязняющих веществ в атмосфере и балансовых моделей загрязнения территорий и акваторий. Так, мало значащие факторы можно исключать, по крайней мере, на начальных стадиях разработки моделей, из соответствующих уравнений, что существенным образом упрощает решение задачи. Также весовые коэффициенты факторов помогают интерпретировать результаты мониторинга и экспедиционных материалов при анализе полученных данных.

Работа выполнена в рамках темы госзадания № 0149-2019-0007 и при частичной поддержке РФФИ (грант № 19-45-393007).

Список литературы / References

1. Filippa G., Freppaz M., Williams M., Zanini E. Major element chemistry in inner alpine snowpacks (Aosta valley region, NW Italy). Cold Regions Science and Technology, 2010. no 64. P. 158–166. DOI: 10.1016/j.coldregions.2010.07.005.

2. Котова Е.И., Коробов В.Б., Шевченко В.П. Особенности формирования ионного состава снежного покрова в прибрежной зоне западного сектора Арктических морей России // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. [Электронный ресурс]. URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=7843 (дата обращения: 09.10.2019)

Kotova E.I., Korobov V.B., Shevchenko V.P. Peculiarities of the formation of the ion composition of the snow cover in the coastal zone of the western sector of Russian Arctic // Modern problems of science and education. 2012. № 6. [Electronic resource]. URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=7843 (date of access: 09.10.2019) (in Russian).

3. Полькин В.В., Голобокова Л.П., Погодаева Т.В., Козлов В.С., Коробов В.Б., Лисицын А.П., Панченко М.В., Пескова М.А., Ходжер Т.В., Шевченко В.П. Состав аэрозолей приводного слоя атмосферы над Белым морем во второй половине августа 2003 и 2004 гг. // Фундаментальные исследования океанов и морей. Книга 2. М.: Наука, 2006. С. 413–439.

Polkin V.V., Golobokova L.P., Pogodaeva T.V., Kozlov V.S., Korobov V.B., Lisitsyn A.P., Panchenko M.V., Peskova M.A., Hodger T.V., Shevchenko V.P. Aerosol composition of the atmospheric drive layer over the White Sea in the second apparatus of August 2003 and 2004 // Fundamentalnyye issledovaniya okeanov i morey. Kniga 2. M.: Nauka, 2006. P. 413–439 (in Russia).

4. Котова Е.И., Шевченко В.П. Влияние дальнего атмосферного переноса на формирование ионного состава атмосферных осадков и снежного покрова прибрежной зоны западного сектора российской Арктики // Фундаментальные исследования. 2014. № 12–11. С. 2378–2382.

Kotova E.I., Shevchenko V.P. The effect of long-range atmospheric transport on the formation of the ionic composition of precipitation and snow cover of the coastal zone of the western sector of the Russian Arctic // Fundamental research. 2014. № 12–11. P. 2378–2382 (in Russian).

5. Котова Е.И. Оценка влияния местных источников загрязнения и дальнего переноса на формирование ионного состава атмосферных осадков и снежного покрова прибрежной зоны западного сектора Арктики. Автореф. дис. …канд. географ. наук. Ростов-на-Дону, 2013. 23 с.

Kotova E.I. Assessment of the influence of local sources of pollution and long-range transport on the formation of the ionic composition of precipitation and snow cover of the coastal zone of the western sector of the Arctic. Avtoref. Dis. ... cand. geograph. nauk. Rostov-na-Donu, 2013. 23 p. (in Russian).

6. Vasilevich M.I., Beznosikod V.A., Kondratenok B.M. Chemical composition of snow cover in the taiga zone of the Komi Republic. Water Resources. 2011. vol. 38. no. 4. P. 530–542. DOI: 10.1134/S0097807811040130.

7. Макаров В.Н. Геохимия снежного покрова таёжных и горных мерзлотных ландшафтов Якутии // Лёд и Снег. 2014. Т. 54. № 1. С. 73–80.

Makarov V.N. Geochemistry of snow cover in taiga and alpine permafrost landscapes of Yakutia. Lyod i Sneg. 2014. V. 54. № 1. P. 73–80 (in Russian).

8. Московченко Д.В., Бабушкин А.Г. Особенности формирования химического состава снеговых вод на территории Ханты-Мансийского автономного округа // Криосфера Земли. 2012. Т. XVI. № 1. С. 71–81.

Moskovchenko D.V., Babushkin A.G. Peculiarities of formation of chemical composition of snow waters (on example of Khanty-Manci autonomous district). Kriosfera Zemli. 2012. V. XVI. № 1. P. 71–81 (in Russian).

9. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети. М: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 360 с.

Saati T.L. Decision making with dependencies and feedbacks: analytic networks. M: Knizhnyy dom «LIBROKOM», 2009. 360 p. (in Russian).

10. Коробов В.Б. Некоторые проблемы применения экспертных методов на практике // Научный диалог. 2013. № 3 (15). С. 94–108.

Korobov V.B. Some Problems of Practical Application of Expert Methods // Nauchnyi dialog. 2013. № 3 (15). P. 94–108 (in Russian).

11. Коробов В.Б. Теория и практика экспертных методов. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2019. 281 с.

Korobov V.B. Theory and practice of expert methods. M.: NITS INFRA-M, 2019. 281 p. (in Russia).

12. Коробов В.Б., Тутыгин А.Г. Проблемы использования метода анализа иерархий и пути их решения // Экономика и управление. 2016. № 8. С. 60–65.

Korobov V.B., Tutygin A.G. Problems of the Analytic Hierarchy Process and Some Solutions // Ekonomika i upravleniye. 2016. № 8. P. 60–65 (in Russian).

13. Василенко Н.В., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометиздат, 1985. 182 с.

Vasilenko N.V., Nazarov I.M., Fridman Sh.D. Monitoring snow cover pollution. L.: Gidrometizdat, 1985. 182 p. (in Russian).

14. Прокачева В.Г., Усачев В.Ф. Снежный покров в сфере влияния города. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 176 с.

Prokacheva V.G., Usachev V.F.Snow cover in the sphere of influence of the city. L.: Gidrometeoizdat, 1989.176 p. (in Russian).

15. Котова Е.И. Содержание соединений азота в воздухе и атмосферных осадках Архангельской агломерации // Природные ресурсы и комплексное освоение прибрежных районов Арктической зоны: сборник научных трудов. Архангельск: Изд-во ФИЦКИА РАН, 2016. С. 235–238.

Kotova E.I. The content of nitrogen compounds in the air and atmospheric precipitation of the Arkhangelsk agglomeration // Prirodnyye resursy i kompleksnoye osvoyeniye pribrezhnykh rayonov Arkticheskoy zony: sbornik nauchnykh trudov. Arkhangel'sk: Izd-vo FITSKIA RAN, 2016. P. 235–238 (in Russian).

16. Таловская А.В., Язиков Е.Г., Филимоненко Е.А. Оценка загрязнения атмосферного воздуха урбанизированных районов Томской области по данным изучения снегового покрова // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2014. № 5. С. 408–417.

Talovskaya A.V., Yazikov E.G., Filimonenko E.A. Assessment of atmosphere pollution in urbanized areas of Tomsk region by the results of snow cover study // Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya. 2014. № 5. P. 408–417 (in Russian).

17. Brooks P.D., Grogan P., Templer P.H., Groffman P., Öquist M.G., Schimel J. Carbon and nitrogen cycling in snow-covered environments. Geography Compass, 2011. no 5 (9). P. 682–699.

18. Vinogradova A.A., Ponomareva T.Y. Atmospheric transport of anthropogenic impurities to the Russian Arctic (1986–2010). Atmospheric and Oceanic Optics. 2012. T. 25. № 6. P. 414–422. DOI: 10.1134/S1024856012060127.

19. Добровольский В.В. Основы биогеохимии.Учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 400 с.

Dobrovolsky V.V. Fundamentals of biogeochemistry. A textbook for students of higher educational institutions. M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2003. 400 p. (in Russia).

20. Котова Е.И. Сульфаты в осадках и снеге побережья Таймырского полуострова // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2018. Т. XXIX. № 1. С. 65–72. DOI: 10.21513/0207-2564-2018-1-65-72.

Kotova E.I. Sulphates in precipitation and snow of Taimyr peninsula coast // Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem. 2018. Vol. XXIX. № 1. P. 65–72 (in Russian).

21. Shevchenko V.P., Lisitzin A.P., Vinogradova A.A., Smirnov V.V., Serova V.V., Stein R. Arctic aerosols. Results of ten-year investigations. Atmospheric and Oceanic Optics. 2000. T. 13. № 6–7. P. 510–533.

22. Shevchenko V.P., Korobov V.B., Lisitzin A.P., Aleshinskaya A.S., Bogdanova O.Yu., Goryunova N.V., Grishchenko I.V., Dara O.M., Zavernina N.N., Kurteeva E.I., Novichkova E.A., Pokrovsky O.S., Sapozhnikov F.V. First data on the composition of atmospheric dust responsible for yellow snow in Northern European Russia in march. Doklady Earth Sciences. 2010. T. 431. № 2. P. 497–501. DOI: 10.1134/S1028334X10040185.

23. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Штайн Р., Горюнова Н.В., Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Кривс М., Новигатский А.Н., Соколов В.Т., Филиппов А.С., Хаас Х. Распределение и состав нерастворимых частиц в снеге Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 75. С. 106–118.

Shevchenko V.P., Lisitsyn A.P., Stein R., Goryunova N.V., Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Kriews M., Novigatsky A.N., Sokolov V.T., Filippov AS, Haas C. Distribution and composition of insoluble particles in the snow of the Arctic // Problemy Arktiki i Antarktiki. 2007. № 75. P. 106–118 (in Russian).

24. Пристова Т.А., Шамрикова Е.В. Характеристика снежного покрова в условиях аэротехногенного загрязнения предприятиями Республики Коми // Проблемы региональной экологии. 2010. № 5. С. 78–83.

Pristova T.A., Shamrikova E.V. The Characteristic of the snow integument in the conditions of aerotechnogenic contamination by the Republic Komi enterprises // Problemy regional'noy ekologii. 2010. № 5. P. 78–83 (in Russian).

25. Коробов В.Б., Тутыгин А.Г. Классификационные методы решения эколого-экономических задач. Архангельск: Поморский университет, 2010. 310 с.

Korobov V.B., Tutygin A.G. Classification methods for solving environmental and economic problems. Arkhangel'sk: Pomorskiy universitet, 2010. 310 p. (in Russian).

26. Лебон Г. Психология народов и масс. М.: Издательство АСТ, 2018. 384 с.

Lebon G. Psychology of peoples and masses. M.: Izdatel'stvo AST, 2018. 384 p. (in Russian).

УДК 911.2:551.8

НАСЛЕДИЕ ПЛЕЙСТОЦЕНОВОЙ КРИОЛИТОЗОНЫ В ЛАНДШАФТАХ ЗАВОЛЖСКО-УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Рябуха А.Г.

Институт степи УрО РАН – обособленное структурное подразделение ФГБУН Оренбургского федерального исследовательского центра УрО РАН, Оренбург, e-mail: annaryabukha@yandex.ru

В статье анализируется роль плейстоценовой криолитозоны в развитии степных ландшафтов Заволжско-Уральского региона. Рассмотрены ведущие рельефообразующие процессы в позднеплейстоценовой перигляциальной гиперзоне тундростепей. Обосновывается их значение в эволюции и пространственной дифференциации ландшафтов региона, при ведущей рельефообразующей роли мерзлотных, солифлюкционных и эоловых процессов, способствующих накоплению отложений перигляциальной формации и моделировке земной поверхности – выравниванию рельефа, заполнению речных долин конструктивным аллювием, оплыванию, выполаживанию и отступанию склонов, подавлению роста форм линейной эрозии, дефляции и аккумуляции эоловых накоплений лессов и песчаных массивов. Климатические условия перигляциальных эпох изменили весь ход рельефобразования и литогенеза на всех элементах рельефа: водоразделах, склонах речных долинах. На водораздельных пространствах, сложенных плотными породами, ведущим процессом было криогенное выветривание, сформировавшее суглинисто-щебневый криоэлювий. На склонах слабое развитие растительности на промерзшем грунте резко активизировало плоскостной смыв и криосолифлюкцию, в результате чего у подножья сформировались мощные суглинисто-щебневые и суглинистые шлейфы, приведшие к выработке выпукло-вогнутого профиля склонов и к асимметрии речных долин, балок и междуречных плато. Интенсивные склоновые процессы поставляли в русла рек огромное количество рыхлого материала, что привело к формированию особого типа перигляциального аллювия, обладающего повышенной мощностью. За счет развивания аллювиальных песчаных террас сформировались поля верхнеплейстоценовых эоловых дюн. Одними из доминирующих в перигляциальной зоне являлись криогенные процессы, связанные с морозобойным растрескиванием грунтов, представленные в настоящее время реликтовым криогенным микрорельефом, повсеместно закартированным на территории региона.

Ключевые слова: криолитозона, плейстоцен, реликтовый криогенный микрорельеф, перигляциальный аллювий, лессово-почвенная формация, материковые дюны

THE HERITAGE OF PLEISTOCENE CRYOLITHOZONE IN THE ZAVOLZHYE AND URALS REGION

Ryabukha A.G.

Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences – Subdivision of the Orenburg Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, e-mail: annaryabukha@yandex.ru

The article analyzes the role of the Pleistocene permafrost zone in the development of steppe landscapes of Zavolzhskiy-Urals region. The leading relief-forming processes in the Late Pleistocene periglacial hyperzone of the tundra-steppes are considered. Their significance in the evolution and spatial differentiation of the region's landscapes is substantiated, with the leading relief-forming role of permafrost, solifluction and aeolian processes contributing to the accumulation of periglacial formation sediments and modeling of the earth's surface – leveling the relief, filling river valleys with constructive alluvium, swelling, flattening and retreating slopes, suppressing growth forms of linear erosion, deflation and accumulation of aeolian accumulations of loesses and sand massifs. The climatic conditions of the periglacial epochs changed the whole course of relief formation and lithogenesis on all elements of the relief: watersheds, slopes of river valleys. In watershed spaces composed of dense rocks, the leading process was cryogenic weathering, which formed loamy crushed stone cryoeluvium. On the slopes, the weak development of vegetation on frozen ground sharply activated planar flushing and cryosolifluction, as a result of which powerful loamy-crushed and loamy loops formed at the foot, leading to the development of a convex-concave profile of the slopes and to the asymmetry of river valleys, inter-river beams. Intensive slope processes supplied a huge amount of loose material to the river beds, which led to the formation of a special type of periglacial alluvium, which has increased power. Due to the development of alluvial sand terraces, fields of the Late Pleistocene aeolian dunes were formed. One of the dominant in the periglacial zone was cryogenic processes associated with frost cracking of the soil, currently represented by relict cryogenic microrelief, ubiquitously mapped in the region.

Keywords: Cryolithozone, Pleistocene, relict cryogenic microrelief, periglacial alluvium, loess-soil formation, continental dunes

Важнейшим этапом в эволюции и пространственной дифференциации ландшафтов степной зоны Заволжско-Уральского региона стали эпохи средне- и позднеплейстоценовых похолоданий, когда ландшафты приобретали перигляциальный характер с очень суровым холодным и сухим климатом, сильными ветрами, многолетней мерзлотой и подземными полигональными жильными льдами, безлесными тундрово-степными ландшафтами и очагами холодных песчано-эоловых пустынь. Ве-

дущими рельефообразующими процессами в перигляциальной гиперзоне, зоне, занимавшей в позднем плейстоцене большую часть Евразии, были мерзлотные, солифлюкционные, а также эрозия, абразия и аккумуляция, имеющие в условиях многолетней мерзлоты специфические особенности. Процессы делювиальные, пролювиальные и эоловые, в проявлении которых также имеет место мерзлотная специфика, не являлись ведущими [1, 2]. В результате на огромных пространствах плейстоценовых перигляциальных зон господствовали специфические физические процессы, способствующие накоплению отложений перигляциальной формации и моделировке земной поверхности, – выравниванию рельефа, заполнению речных долин констративным аллювием, оплыванию, выполаживанию и отступанию склонов, подавлению роста форм линейной эрозии, дефляции и аккумуляции эоловых накоплений лессов и песчаных массивов [2, 3]. При переходе от плейстоцена к голоцену произошла резкая смена климатических условий на современные, многолетняя мерзлота растаяла и произошла «консервация», закрепление плейстоценового рельефа почвенно-растительным покровом. В современности земная поверхность в областях умеренного климата в значительной степени стабильна и экзогенные процессы лишь в слабой степени меняют ее. Гораздо большую роль сейчас имеют антропогенные процессы. Сомкнутый растительный покров препятствует денудации склонов, выносу мелкозема и прочим агентам денудации там, где они не встречают благоприятных условий в результате антропогенной деятельности. В современных условиях в равнинных областях практически не происходят склоновые процессы (они проявляются лишь на крутых склонах), в равнинных реках аллювий образуется по перстративному типу [2]. Наиболее заметное преобразование земной поверхности в степной зоне происходит лишь в речных долинах в результате боковой эрозии. Таким образом процессы рельефообразования в перигляциальной зоне были качественно отличны от современных, не статичны, но последовательно менялись в связи с изменением климата, от более влажного и холодного в начале ледникового периода к экстрааридному и холодному в конце. Поэтому большинство современных форм мезо- и микрорельефа и ландшафтных комплексов являются «законсервированным» наследием перигляциальных эпох, сохранившихся в современных ландшафтах региона [4].

Цель исследования: выявление роли палеокриогенеза в истории формирования и современном состоянии ландшафтных комплексов степной зоны Заволжско-Уральского региона.

Материалы и методы исследования

При подготовке статьи использованы материалы многолетних (2000–2019 гг.) полевых экспедиционных исследований степных ландшафтов, проводившихся автором в пределах Заволжско-Уральского региона. Также для решения поставленных в статье задач был задействован широкий круг географических исследований, включая применение следующих методов: сравнительно-географического, метода полевых исследований и наблюдений, картографических, геолого-геоморфологических, ландшафтных, геоботанических, криолитологических и т.д. Широко использовались данные дистанционного зондирования Земли.

Результаты исследования и их обсуждение

Главный продукт перигляциальных эпох – лессовые покровы (лессово-почвенная формация). Для района исследования характерным является плащеобразное залегание мощной толщи, состоящей из ритмичного чередования в вертикальном разрезе лессовых пород и ископаемых почв, которая по возрасту охватывает практически весь квартер. Лессовые покровы (или лессово-почвенные комплексы) прослеживаются на значительных площадях Заволжско-Уральского региона и плащеобразно залегают на плоских и полого выпуклых междуречьях и поверхностях высоких речных террас в пределах Бугульминско-Белебеевской возвышенности, Общего Сырта, Предуральского Сырта и Подуральского плато. Максимальные мощности лессово-почвенной формация на Общем Сырте доходят до 45 м [5, 6].

Строение лессово-почвенной формации изучаемого региона наглядно иллюстрирует разрез Подгородняя Покровка в Оренбургском Предуралье (рис. 1). Разрез имеет палеомагнитную, микротериофаунистическую и другие характеристики. Находится он в 15 км к северо-западу от г. Оренбурга, на р. Каргалке, и представлен разноцветными палеопочвами и разделяющими их лессовыми породами (силтами), часто тех же оттенков, общей мощностью около 50 м,

которые с размывом перекрывают морские отложения акчагыла. З.К. Шкатовой выделено 14 ископаемых почв, имеющих разную мощность, степень сохранности и индивидуальную морфологическую выраженность генетических профилей [7]. Почти повсеместно в лессовых покровах присутствуют следы криогенных деформаций. Часто в лессовых толщах района исследования находят костные остатки представителей позднеплейстоценового фаунистического комплекса. Лессовидные покровы экранируют дочетвертичные подстилающие породы, чуждые степному гипергенезу, тем самым обеспечивают необходимые условия для формирования типично зональных степных ландшафтов [8].

Рис. 1. Лессово-почвенная формация разреза Подгородняя Покровка

Климатические условия перигляциальных эпох изменили весь ход рельефообразования и литогенеза на всех элементах рельефа: водоразделах, склонах речных долинах [2, 3, 9]. На водораздельных пространствах, сложенных плотными породами, ведущим процессом было криогенное выветривание, сформировавшее наряду с лессами суглинисто-щебневый криоэлювий, мощность которого обычно составляет 0,5–1 м и редко превышает 2 м. Криоэлювий состоит из щебня с суглинистым заполнителем. Щебень имеет размер обломков в среднем от 2,5 до 5 см, отсортированность его низкая, обломки практически не окатаны. Образование рассмотренного криоэлювия происходило в условиях перигляциального климата плейстоцена и связано с процессами механического выветривания, вызванных чередованием или повторением циклов замерзания и оттаивания воды в порах, трещинах и других отверстиях, на дневной поверхности. О перигляциальном генезисе криоэлювия свидетельствует тот факт, что средняя глубина промерзания составляет 1,0–1,2 м. Глубина же суточных колебаний температуры, которые являются основным фактором физического выветривания, достигает 15–25 см. Наблюдаемые же мощности элювия до 2 м, а иногда и более 4 м связаны с более суровыми климатическими условиями. Кроме того, часто в элювии встречаются инволюции и щебневые текстуры [3]. По мнению многих ученых, время формирования криоэлювия определяется последней перигляциальной эпохой, горизонты криоэлювия более ранних перигляциалов уничтожались при усилении эрозии в межледниковьях [2, 3, 9, 10].

Значительное влияние перигляциальные условия оказали на склоновые процессы. Слабое развитие растительности на промерзшем грунте резко активизировало плоскостной смыв и криосолифлюкцию, в результате чего у подножья склонов сформировались мощные суглинисто-щебневые и суглинистые шлейфы. Долгое время ученые считали эти образования делювиальными, однако в дальнейшем на основании текстурных признаков было доказано широкое участие в формировании шлейфов солифлюкции. Строение, состав и мощность склоновых шлейфов определяются характером подстилающих пород, экспозицией склона и положением в перигляциальной зоне. Наиболее мощные шлейфы развиты на склонах северо-восточной экспозиции. На противоположных склонах мощности их редко превышают несколько метров, они содержат больше щебня. Горизонтами погребенных почв или по литологическим особенностям склоновые шлейфы расчленяются на 3–4 горизонта [3]. Делювиально-солифлюкционные склоны привели к выработке выпукловогнутого профиля склонов и к асимметрии речных долин, балок и междуречных плато. Под асимметрией склонов речных долин, или асимметрией долин, подразумевается «неодинаковая крутизна и форма склонов речных долин, прослеживающаяся на большом расстоянии» [11]. В пределах Бугульминско-Белебеевской возвышенности, Общего Сырта и Подуральского плато асимметрия рельефа получила классическое выражение: здесь практически повсюду крутыми оказываются склоны южной экспозиции, пологими – склоны северной экспозиции. Пологие склоны обычно сложены достаточно мощным, часто лессовидными суглинками, под которыми иногда залегают погребенные аллювиальные отложения. Крутые склоны

прикрыты маломощными, часто щебнистыми суглинками.

Существует множество теорий, объясняющих происхождение этого явления. Их можно свести в несколько групп: гидродинамические, планетарные, климатические, топографические и структурно-геологические. Детальное изучение причин выраженности асимметрии склонов на востоке Русской равнины, проведенное группой казанских ученых, показывает, что главными являются закон Бэра-Бабине и климат, остальные причины оказались второстепенными и проявляются локально [10]. Причем планетарная асимметрия характерна для долин крупных рек, при максимальных расходах в среднем около 600–800 м^3/с, а инсоляционная – для долин малых рек. Поэтому асимметрия склонов большинства речных долин Заволжско-Уральского региона связана с климатическими условиями и является, таким образом, климатической асимметрией, связанной с перераспределением инсоляции и увлажнения. Многие исследователи связывают формирование климатической асимметрии с перигляциальными условиями плейстоцена и считают основную причину асимметрии склонов долин результатом процессов, действующих в иных климатических условиях, т.е. внесли в эту гипотезу палеоклиматический аспект. Наблюдающаяся в настоящее время асимметрия в умеренных широтах является реликтовой [3, 10, 12]. В исследованиях казанских геоморфологов было убедительно доказано преобладание в долинах средних и малых рек Русской равнины климатического типа асимметрии, сформировавшегося в эпохи плейстоценовых оледенений. Общей причиной, придающей черты сходства асимметрии склонов долин средних и малых рек в перигляциальной обстановке, являлось различие общей направленности и интенсивности солифлюкционных процессов на разноэкспонированных склонах [9]. Хорошо инсолируемые склоны южной и юго-западной экспозиции в весенне-летний период быстро просыхали и сохраняли свою первичную эрозионного происхождения крутизну. В перигляциальной обстановке северные и северо-восточные затененные, более увлажненные склоны подвержены более активному проявлению солифлюкционных процессов и выполаживаются до предельных величин – 1,5–3 ° [3, 9]. Этот вывод подтверждается фактом тесной связи степени выраженности асимметрии с мощностью склоновых отложений. Таким образом асимметрия склонов речных долин района исследования является реликтовой, сформировавшейся в перигляциальных условиях позднего плейстоцена.

Значительным своеобразием в перигляциальных условиях отличалась флювиальная деятельность. Интенсивные склоновые процессы поставляли в русла рек огромное количество рыхлого материала, что привело к формированию особого типа перигляциального аллювия. Им сложены средне- и верхнеплейстоценовые речные террасы (от четвертой до первой) региона исследования, достигающие значительной ширины. Основные признаки перигляциального аллювия заключаются в следующем: повышенная мощность отложений, значительно превышающая нормальную мощность аллювиальной свиты в умеренно гумидных условиях. Мощность отложений вторых надпойменных террас рек региона составляет 18–23 м, иногда возрастает до 30–35 м, максимальная мощность – 64,5 м, мощность отложений первых надпойменных террас составляет 15–25 м [13]. Перигляциальный аллювий чаще всего сложен светло-желтыми, желтовато-бурыми мелкозернистыми песками с примесью алевритовых и глинистых частиц. Преобладание желто-бурых и палевых тонов свидетельствует о незначительном развитии растительности. Доля песчаных фракций составляет от 55 до 75%, что свидетельствует о слабой промытости материала. В толще перигляциального аллювия наблюдаются линзы и прослои супесчаного материала, встречаются маломощные прослои и линзы крупнозернистого песка с мелким гравием и галькой. Слоистость аллювия горизонтальная, слабоволнистая и мелкая переплетающаяся, характерно отсутствие косослоистых русловых песков. Для перигляциального аллювия весьма характерной особенностью является широкое развитие криогенных деформаций, скудность органическими остатками, споро-пыльцевые спектры с холодолюбивой и ксерофитной растительностью и палеонтологические находки верхнеплейстоценового фаунистического комплекса [9]. В перигляциальном аллювии не выражено типичное сочетание русловых, старичных и пойменных фаций, нет базального горизонта, отсутствуют внутри следы размыва. и весь разрез перигляциального аллювия представляет собой одну сильно раздутую по мощности фацию специфического руслового аллювия [3]. Боровые террасы рек региона, которые считаются древнеаллювиальными образованиями, сложены перигляциальным аллювием. Таким образом,

крупные песчаные массивы региона, приуроченные к долинам рек Самары, Большого и Малого Урана, Тока, Бузулука, Боровки (Бузулукский бор), Урала, Илека, Малой Хобды, Иртека, Киндели, Карабутака, происхождение которых в литературных источниках трактуется как древнеаллювиальное, занимают надпойменные террасы (первые и вторые «боровые» террасы), сложенные перигляциальным аллювием [14, 15]. Перигляциальный аллювий третьей и четвертой надпойменных террас рек региона бронируется позднеплейстоценовым покровом лессовых суглинков, и поэтому песчаные массивы для них нехарактерны.

Эоловые песчаные отложения, широко распространенные в Заволжско-Уральском регионе, также входят в состав перигляциальной формации. Образуются они за счет развевания верхнеплейстоценовых перигляциальных аллювиальных отложений, озерно-аллювиальных отложений апшеронсреднечетвертичного возраста, а также отложений, образовавшихся в результате выветривания пермских, юрских, триасовых и меловых песчаников. Однако наиболее широко эоловые дюнные пески распространены на территории молодых (первой и второй) безлессовых надпойменных террас. Основными областями развития дюнных эоловых массивов являются долины рек Илека, Самары, Большого и Малого Урана, Тока, Бузулука, Боровки (Бузулукский бор), Урала, Илека, Малой Хобды, Иртека, Киндели, Утвы, Уила, Киила и др. (рис. 2) [16]. Возникновение полей эоловых дюн является характерной чертой природных условий позднеледниковья. Основные этапы дюнообразования приходятся на холодные фазы позднеледниковья. При этом выделяют фазы активного проявления эоловых процессов, относящиеся к раннему дриасу (10 380–13 000) л.н., среднему дриасу (12 300–11 800 л.н.) и позднему дриасу (11 000–10 500 л.н.). В эти периоды в условиях очень холодного и сухого климата произошла значительная активизация эоловых процессов и были сформированы основные массивы дюн и покровных песков [17–19]. Проведенные исследования показывают, что на территории региона позднеплейстоценовые эоловые формы рельефа представлены древними материковыми (континентальными) дюнами, ложбинно-гривистыми и бугристо-западинными песками. Наиболее распространенной формой материковых дюн является – параболическая. Позднеплейстоценовые параболические дюны широко распространены на песчаных надпойменных террасах рек (Илека, Иртека, Малой и Большой Хобды, Боровки Тока, Малого и Большого Урана, Утвы, Уила, Киила и др.).

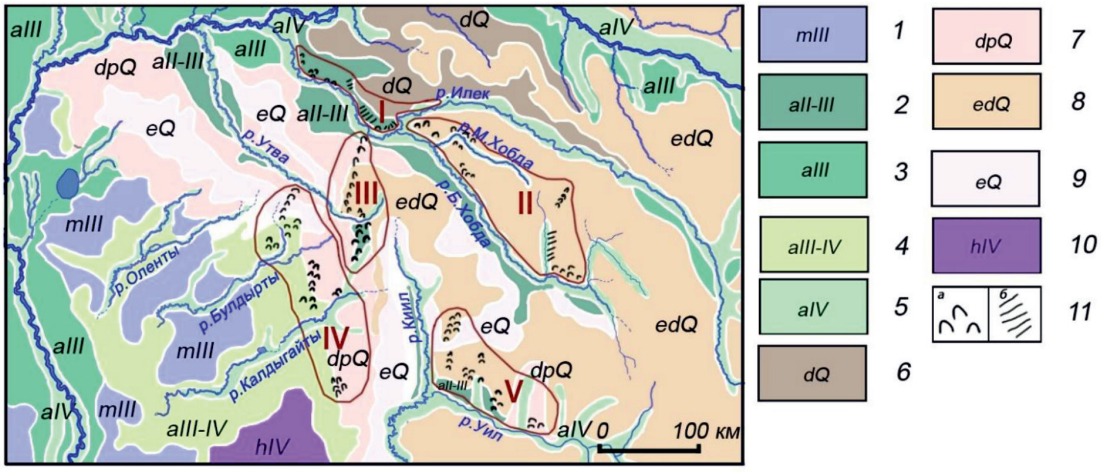


Рис. 2. Карта-схема распространения, ориентировки и районирования позднеплейстоценовых дюн Заволжско-Уральского региона. Условные обозначения: 1) морские верхнечетвертичные отложения; 2–5) аллювиальные отложения: 2) средневерхнечетвертичные; 3) средневерхнечетвертичные – современные; 3) верхнечетвертичные; 4) верхнечетвертичные – современные; 5) современные; 6) четвертичные делювиальные отложения; 7) четвертичные делювиально-пролювиальные отложения; 8) четвертичные элювиально-делювиальные отложения; 9) четвертичные элювиальные отложения; 10) современные хемогенные отложения; 11) древние материковые дюны: а) параболические, б) ложбинно-гривистые; районы распространения дюнного рельефа: I) Илекский, II) Хобдинский, III) Верхнеутвинский, IV) Булдырты-Калдыгайтинский, V) Верхнеуильский

Ориентированы дюны рогами к югу, юго-западу и юго-востоку, что свидетельствует об участии южных, юго-восточных и юго-западных ветров в процессе дюнообразования в позднем плейстоцене в период благоприятный для перевевания песков [20–22].

Одними из доминирующих в перигляциальной зоне являлись криогенные процессы, связанные с морозобойным растрескиванием грунтов, вызванным колебаниями температур в верхних горизонтах мерзлых пород [23]. Наследием позднеплейстоценового криогенеза является реликтовый криогенный микрорельеф (полигонально-блочный, блочный и блочно-западинный, бугристо-западинный, продольно-полосный (веерная бороздчатость на склонах), слитно-полигональный и редуцированный), повсеместно закартированный на территории региона (рис. 3) [24, 25]. Во многих случаях ландшафтные комплексы степной зоны предопределены реликтовым криогенным полигональным мезо- и микрорельефом (четковидные русла, коленообразные изгибы рек, приспособление овражной сети к пониженным зонам полигонального рельефа).

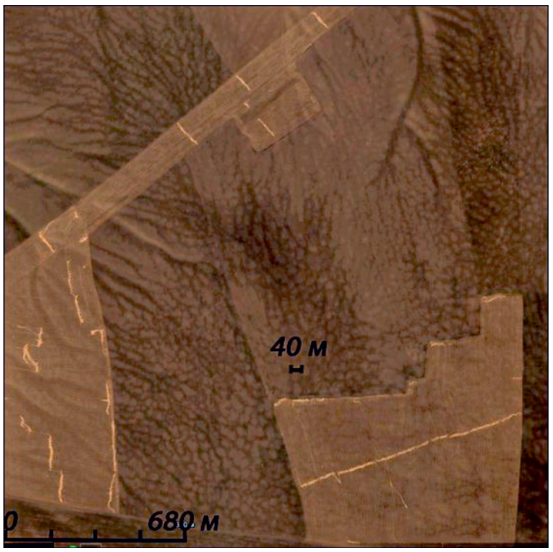


Рис. 3. Фрагмент космического снимка с «решеткой» реликтового полигонального рельефа на территории Урало-Чалкарской легкосуглинистой равнины

Заключение

Территория Заволжско-Уральского региона в позднем плейстоцене входила в огромную гиперзону тундростепей и пережила криоаридную стадию развития. Перигляциальные условия оказали большое влияние на формирование современной ландшафтной структуры региона, и их наследие проявляется на всех уровнях организации ландшафта. Большинство современных форм мезо- и микрорельефа и ландшафтных комплексов являются «законсервированным» наследием перигляциальных эпох, сохранившихся в современных ландшафтах региона. Таким образом, природные процессы прошлого напрямую или опосредованно оказывают влияние на современные ландшафты, их целостность и динамику и нуждаются в детальном изучении.

Статья подготовлена в рамках НИР ОФИЦ УрО РАН (ИС УрО РАН) № ГР АААА-А17-117012610022-5; № АААА-А18-118011690034-6.

Список литературы / References

1. Бойцов М.Н. О формировании рельефа в условиях подземного оледенения // Труды ВСЕГЕИ. 1961. № 64. С. 27–36.

Boytsov M.N. On the formation of the relief in conditions of underground glaciation // Trudy VSEGEI. 1961. № 64. P. 27–36 (in Russian).

2. Васильев Ю.М. Отложения перигляциальной зоны Восточной Европы. М.: Наука, 1980. 171 с.

Vasiliev Yu.M. Deposits of the periglacial zone of Eastern Europe. M.: Nauka, 1980. 171 p. (in Russian).

3. Бутаков Г.П. Плейстоценовый перигляциал Русской равнины. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1986. 144 с.

Butakov G.P. Pleistocene periglacial of the Russian Plain. Kazan: Izd-vo Kazanskogo un-ta, 1986. 144 p. (in Russian).

4. Валиуллина Г.Ш., Илларионов А.Г. Плейстоценовое перигляциальное рельефообразование на территории Закамья республики Татарстан // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле. 2010. № 4. С. 126–136.

Valiullina G.Sh., Illarionov A.G. Pleistocene periglacial relief formation in the Zakamye region of the republic of Tatarstan // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya: Biologiya. Nauki o Zemle. 2010. № 4. P. 126–136 (in Russian).

5. Карта четвертичных образований масштаба 1:2 500 000 территории Российской Федерации. Пояснительная записка. СПб.: Минприроды России, Роснедра, ФГУП «ВСЕГЕИ», ФГБУ «ВНИИОкеангеология», 2010. 220 с.

Map of Quaternary formations on a scale of 1: 2 500 000 of the territory of the Russian Federation. Explanatory note. SPb.: Minprirody Rossii, Rosnedra, FGUP «VSEGEI», FGBU «VNIIOkeangeologiya», 2010. 220 p. (in Russian).

6. Левыкин С.В., Казачков Г.В. Лёсс как ведущий фактор формирования степных чернозёмов и ландшафтного ядра зональной типичности степной зоны голоцена Евразии // Черноземы Центральной России: генезис, эволюция и проблемы рационального использования: сборник материалов научной конференции, посвященной 80-летию кафедры почвоведения и управления земельными ресурсами в 100-летней истории ВГУ. Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2017. С. 61–65.

Levykin S.V., Kazachkov G.V. Löss as a leading factor in the formation of steppe chernozems and the landscape core of the zonal typicality of the steppe zone of the Holocene of Eurasia // Chernozems of Central Russia: Genesis, Evolution, and Problems of Rational Use: a collection of materials from a scientific conference dedicated to the 80th anniversary of the Department of Soil Science and Land Management in the 100-year history of Voronezh State University. Voronezh: Izd-vo «Nauchnaya kniga», 2017. P. 61–65 (in Russian).

7. Шкатова В.К., Никулин А.Г. Лессово-почвенная стратиграфия Оренбургского Предуралья // Главнейшие итоги в изучении четвертичного периода и основные направления исследований в 21 веке: материалы всероссийского совещания. СПб., 1998. С. 57–58.

Shkatova V.K., Nikulin A.G. Loess-soil stratigraphy of the Orenburg Cis-Urals // The main results in the study of the Quaternary and the main directions of research in the 21st century: materials of the All-Russian meeting. SPb., 1998. P. 57–58 (in Russian).

8. Николаев В.А. Память ландшафта // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2013. № 1. С. 17–21.

Nikolaev V.A. landscape's Memory // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya. 2013. № 1. P. 17–21 (in Russian).

9. Дедков А.П. Экзогенное рельефообразование в Казанско-Ульяновском Поволжье. Казань, 1970. 256 с.

Dedkov A.P. Exogenous relief formation in the Kazan-Ulyanovsk Volga region. Kazan, 1970. 256 p. (in Russian).

10. Бутаков Г.П., Бабанов Ю.М., Мозжерин В.И., Алексенцева А.И. О зональности асимметрии речных долин востока Русской равнины // Ландшафтные исследования на территории Поволжья. 1977. № 10. С. 53–79.

Butakov G.P., Babanov Yu.M., Mozherin V.I., Aleksentseva A.I. On the zoning of the asymmetry of river valleys of the east of the Russian Plain // Landshaftnyye issledovaniya na territorii Povolzh'ya. 1977. № 10. P. 53–79 (in Russian).

11. Тимофеев Д.А. Терминология денудации и склонов. М., 1978. 243 с.

Timofeev D.A. The terminology of denudation and slopes. M., 1978. 243 p. (in Russian).

12. Куржанова А.А. Влияние длительных плановых смещений русел рек востока Русской равнины на асимметрию склонов речных долин // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2. [Электронный ресурс]. URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=5720 (дата обращения: 10.09.2019).

Kurzhanova A.A. The effect of long-term planned displacements of riverbeds of the east of the Russian Plain on the asymmetry of the slopes of river valleys // Modern problems of science and education. 2012. № 2. [Electronic resource]. URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=5720 (date of access: 10.09.2019) (in Russian).

13. Юнанизде Т.Ю., Березовчук Л.С., Коростелева Т.А., Кузнецова Н.И. К стратиграфии средне- и верхнеплейстоценовых отложений юго-западной части Оренбургской области // Вопросы геологии Южного Урала и Поволжья. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1976. Вып. 9. Ч. 2. 84 с.

Yunanizde T.Yu., Berezovchuk L.S., Korosteleva T.A., Kuznetsova N.I. On the stratigraphy of the Middle and Upper Pleistocene sediments of the southwestern part of the Orenburg region // Geological Issues of the Southern Urals and Volga Region. Saratov: Publishing House of the Saratov University, 1976. Vol. 9. Part 2. 84 p. (in Russian).

14. Климентьев А.И. Бузулукский бор: почвы, ландшафты и факторы географической среды. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 401 с.

Klimentyev A.I. Buzuluk pine forest: soils, landscapes and factors of the geographical environment. Ekaterinburg: UrO RAN, 2010. 401 p. (in Russian).

15. Рябуха А.Г. Морфология и структура реликтовых перигляциальных ландшафтов Заволжско-Уральского региона по данным дистанционного зондирования // Охрана природы и региональное развитие: гармония и конфликты (к году экологии в России): материалы международной научно-практической конференции и школы-семинара молодых ученых степеведов «Геоэкологические проблемы степных регионов». Оренбург: Институт степи УрО РАН, 2017. Т. 2. С. 136–141.

Ryabukha A.G. Morphology and structure of relict periglacial landscapes of the Trans-Volga-Ural region according to remote sensing data // Okhrana prirody i regional'noye razvitiye: garmoniya i konflikty (k godu ekologii v Rossii): materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii i shkoly-seminara molodykh uchenykh stepevedov «Geoekologicheskiye problemy stepnykh regionov». Orenburg: Institut stepi UrO RAN, 2017. T. 2. P. 136–141 (in Russian).

16. Рябуха А.Г. Древнедюнные ландшафты Зауральско-Прикаспийского региона и проблема их охраны // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16. № 1–4. С. 1111–1113.

Ryabukha A.G. Kinedyne Landscapes of Trans-Urals and Caspian Region and Problem of their Protection // Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2014. V. 16. № 1–4. P. 1111–1113 (in Russian).

17. Дренова А.Н., Величко А.А. Древние материковые дюны восточной Европы (их распространение, возраст, направление дюноформирующих ветров) // Пути эволюционной географии: материалы Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора А.А. Величко. М.: Институт географии РАН, 2016. С. 81–87.

Drenova A.N., Velichko A.A. Ancient continental dunes of Eastern Europe (their distribution, age, direction of dune-forming winds) // Puti evolyutsionnoy geografii: materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati professora A.A. Velichko. M.: Institut geografii RAN, 2016. P. 81–87 (in Russian).

18. Дренова А.Н. Древние материковые дюны в бассейне верхней Волги: их ориентировка, строение, гранулометрический состав // Геоморфология. 2011. № 1. С. 37–48.

Drenova A.N. Ancient continental dunes in the upper Volga basin: their orientation, structure, granulometric composition // Geomorfologiya. 2011. № 1. P. 37–48 (in Russian).

19. Величко А.А. Эволюционная география: проблемы и решения. М.: ГЕОС, 2012. 564 с.

Velichko A.A. Evolutionary geography: problems and solutions. M.: GEOS, 2012. 564 p. (in Russian).

20. Рябуха А.Г. Древнеэоловые дюны Сухореченского песчаного массива // Вестник Оренбургского государственного университета. 2013. № 10. С. 331–332.

Ryabukha A.G. The Ancient Eolian sand dunes Sukhorechenskiy array // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2013. № 10. P. 331–332 (in Russian).

21. Рябуха А.Г. Особенности материковых дюн Зауральско-Прикаспийского региона // Acta Geographica Silesiana. 2016. № 21. P. 63–75.

Ryabukha A.G. Features of continental dunes of the Trans-Ural-Caspian region // Acta Geographica Silesiana. 2016. № 21. P. 63–75 (in Russian).

22. Рябуха А.Г. Типология верхнеплейстоценовых дюн Урало-Каспийского региона // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. № 5–5. С. 1576–1580.

Ryabukha A.G. Typology of the Upper Pleistocene dunes of the Ural-Caspian region // Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2014. № 5 (5). P. 1576–1580 (in Russian).

23. Величко А.А. Становление современной ландшафтной оболочки Земли // Природа. 2012. № 1. С. 78–87.

Velichko A.A. Formation of the modern landscape shell of the Earth // Nature. 2012. № 1. P. 78–87 (in Russian).

24. Рябуха А.Г. Реликтовая криогенная морфоскульптура Заволжско-Уральского региона // Пути эволюционной географии: материалы Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора А.А. Величко. М.: Институт географии РАН, 2016. С. 277–282.

Ryabukha A.G. Relict cryogenic morphosculpture of the Trans-Volga-Ural region // Puti evolyutsionnoy geografii: materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati professora A.A. Velichko. M.: Institut geografii RAN, 2016. P. 277–282 (in Russian).

25. Ковда И.В., Рябуха А.Г., Поляков Д.Г., Левыкин С.В., Петрищев В.П., Яковлев И.Г., Норейка С.Ю., Ряхов Р.В. Криогенные признаки в почвах меловых полигонов Оренбургской области // Почвы в биосфере: материалы всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. Томск, 2018. С. 37–41.

Kovda I.V., Ryabukha A.G., Polyakov D.G., Levykin S.V., Petrishchev V.P., Yakovlev I.G., Noreika S.Yu., Ryakhov R.V. Cryogenic features in the soils of Cretaceous polygons of the Orenburg region // Pochvy v biosfere: materialy vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, posvyashchennoy 50-letiyu Instituta pochvovedeniya i agrokhimii SO RAN. Tomsk, 2018. P. 37–41 (in Russian).