
УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

№ 6

2017

ISSN 1681-7494

Импакт-фактор

РИНЦ – 0,906

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 каталогу «Роспечать» – 70062

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Курзанов Анатолий Николаевич, д.м.н., профессор

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.х.н., проф. Алоев В.З. (Нальчик); д.х.н., проф. Великородов А.В. (Астрахань); д.х.н., проф. Дресвянников А.Ф. (Казань); д.х.н., проф. Душкин А.В. (Новосибирск); д.х.н., проф. Ивашкевич А.Н. (Москва); д.х.н., проф. Микитаев А.К. (Нальчик); д.х.н., проф. Нилов А.П. (Егорьевск); д.х.н., проф. Танганов Б.Б. (Улан-Удэ); д.с.-х.н., проф. Анищенко Л.Н. (Брянск); д.с.-х.н., проф. Байрамбеков Ш.Б. (Камызяк); д.с.-х.н., проф. Берсон З. (Великий Новгород); д.с.-х.н., проф. Зволинский В.П. (Волгоград); д.с.-х.н., проф. Коцарева Н.В. (Белгород); д.с.-х.н., проф. Ланцева Н.Н. (Новосибирск); д.с.-х.н., проф. Морозова Н.И. (Рязань); д.с.-х.н., проф. Тихановский А.Н. (Салехард); д.с.-х.н., проф. Улимбашев М.Б. (Нальчик); д.с.-х.н., проф. Ухтверов А.М. (Самара); д.с.-х.н., проф. Хазиахметов Ф.С. (Уфа); д.с.-х.н., проф. Шамшиев Б.Н. (Ош); д.г.-м.н., проф. Абилхасимов Х.Б. (Астана); д.г.-м.н., проф. Алексеев С.В. (Иркутск); д.г.-м.н., проф. Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.г.-м.н., проф. Гавришин А.И. (Новочеркасск); д.г.-м.н., проф. Ерофеев В.И. (Томск); д.г.-м.н., проф. Костицын В.И. (Пермь); д.г.-м.н., проф. Лебедев В.И. (Кызыл); д.г.-м.н., проф. Мельников А.И. (Иркутск)

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.

Импакт-фактор РИНЦ = 0,906.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

Учредитель, издательство и редакция:
ИД «Академия Естествознания»

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

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

Подписано в печать – 23.06.2017
Дата выхода номера – 24.07.2017

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

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

Способ печати – оперативный.
Распространение по свободной цене.
Усл.п.л. 16,13
Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/6-2017
Подписной индекс 70062

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Химические науки (02.00.00)

ПЕРЕРАБОТКА ОТРАБОТАННЫХ ТРАВЯНЫХ РАСТВОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ ФТОРИД ТИТАНА, ПЛАВИКОВУЮ И СОЛЯНУЮ КИСЛОТЫ <i>Быковский Н.А., Даминев Р.Р., Забиров Т.З., Пучкова Л.Н., Фанакова Н.Н.</i>	7
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРИРОДНЫХ ГЛИН МЕСТОРОЖДЕНИЙ БУРЯТИИ <i>Дашинамжилова Э.Ц., Ханхасаева С.Ц., Брызгалова Л.В., Савина А.А.</i>	13
КИСЛОТНОСТЬ ПЕРЗАМЕЩЕННЫХ ПАРА-НИТРОЗОФЕНОЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ ПИРИДИНОВЫЙ ЗАМЕСТИТЕЛЬ <i>Кукушкин А.А., Привалихина А.П., Роот Е.В., Слащинин Д.Г., Субоч Г.А., Товбис М.С.</i>	18
РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ОДНОРОДНЫХ ПО ХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ И РАЗМЕРАМ НАНОЧАСТИЦ МАГНЕТИТА ДЛЯ БИОМЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЕЙ <i>Марнауттов Н.А., Комиссарова Л.Х., Татиколов А.С., Ларкина Е.А., Елфимов А.Б., Васильков О.О.</i>	23
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРУПП НА ГАЗОБАРИЕРНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ <i>Нагорная М.Н., Раздьяконова Г.И., Ходакова С.Я., Румянцев П.А.</i>	28
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ЭКСТРАКЦИИ ПОЛИФЕНОЛОВ ИЗ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА ЯСНОТКОВЫЕ <i>Попова О.С., Скрыпник Л.Н.</i>	34
СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ДОННЫХ ОСАДКОВ ПРЕСНОГО И ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННОГО ОЗЕР ЮГА СИБИРИ ПО РАЗРЕЗУ <i>Серебренникова О.В., Ельчанинова Е.А., Гладких М.А., Русских И.В., Стрельникова Е.Б., Ерофеев В.И.</i>	39
ВЛИЯНИЕ СТЕРЕОИЗОМЕРИИ ЗВЕНЬЕВ НА СВОЙСТВА ГИДРИРОВАННЫХ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ <i>Хорова Е.А., Раздьяконова Г.И., Ходакова С.Я., Румянцев П.А.</i>	45

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ СОРГО <i>Алабушев А.В., Ковтунова Н.А., Романюкин А.Е., Горпиниченко С.И., Ермолина Г.М.</i>	50
ПРОБЛЕМА СОХРАНЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ И ЕЕ РЕШЕНИЕ ПРИ ЗАГОТОВКЕ ДРЕВЕСИНЫ <i>Залесова Е.С., Залесов С.В., Залесов В.Н., Оплетев А.С., Шубин Д.А.</i>	56
ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСИ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД В СОСТАВЕ ДРЕВОСТОЕВ ЕЛЬНИКА ЗЕЛЕНОМОШНОГО НА ИХ УСТОЙЧИВОСТЬ <i>Иванчина Л.А., Залесов С.В.</i>	61
ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ НА ВЫРУБКАХ СОСНЯКОВ В РАЙОНЕ СРЕДНЕГО ПРИАНГАРЬЯ <i>Рунова Е.М., Соловьёва А.А.</i>	67

Науки о Земле (25.00.00)

ЭТАПЫ МИГРАЦИОННЫХ ДВИЖЕНИЙ НАСЕЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ <i>Аракчеева О.В., Кривдина И.Ю.</i>	72
ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА РАСЩЕПЛЕННОГО ОКНА ПРОЗРАЧНОСТИ ДЛЯ РАСЧЁТА ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ ТЕПЛОВОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ <i>Зареи С.А., Насири А.М., Щербак В.М., Широкова В.А.</i>	77

ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНО-САХАЛИНСКОГО ТЕРРЕЙНА ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ <i>Малиновский А.И.</i>	83
ТИПИЗАЦИЯ УГЛЕВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ЭЛЬГИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО КОМПЛЕКСНОМУ ПАРАМЕТРУ УСТОЙЧИВОСТИ <i>Скоморошко Ю.Н., Гриб Н.Н., Кузнецов П.Ю.</i>	90
ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ГОРОДА ДЗЕРЖИНСКА ПО СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ <i>Соткина С.А., Бадьина О.Н., Шевченко И.А., Бикмаева А.В.</i>	96
ПРИРОДНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И СОЦИАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО ГЕОБРЕНДА «БАРГУЗИНСКИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ» <i>Шагжиев К.Ш., Бабилов В.А., Жигмитова С.Б., Мантатова А.В., Чернявский М.К., Оленников И.В.</i>	102
ОСОБЕННОСТИ РАССМОТРЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ <i>Шаяхметов М.С.</i>	108
МОНИТОРИНГ ПОЧВ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА СОДЕРЖАНИЕ МЫШЬЯКА <i>Шульгин Н.В., Свиркова С.В., Ефременко М.П., Заушницена А.В., Шульгина О.А.</i>	113
ОЦЕНКА УГЛЕКИСЛОТНОГО ГАЗООБМЕНА ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ В ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВАХ ВАЛДАЯ <i>Юзбеков А.К., Иващенко А.И., Куманяев А.С.</i>	118
ВЛИЯНИЕ КОРОТКОЖИВУЩИХ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ГАММА-ФОНА ВО ВРЕМЯ ОСАДКОВ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ РОССИИ <i>Яковлев Е.Ю., Дружинин С.В., Быков В.М.</i>	123

CONTENTS

Chemical sciences (02.00.00)

RECYCLING OF THE WASTE ETCHING SOLUTIONS CONTAINING TITANIUM FLUORIDE, HYDROFLUORIC AND HYDROCHLORIC ACIDS <i>Bykovskiy N.A., Daminev R.R., Zabiroy T.Z., Puchkova L.N., Fanakova N.N.</i>	7
PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF NATURAL CLAYS OF DEPOSITS OF BURYATIA <i>Dashinamzhilova E.Ts., Khankhasaeva S.Ts., Bryzgalova L.V., Savina A.A.</i>	13
ACIDITY OF EXHAUSTIVELY SUBSTITUTED PARA-NITROSOPHENOLS WITH PYRIDINE SUBSTITUENTS <i>Kukushkin A.A., Privalikhina A.P., Root E.V., Slaschinin D.G., Suboch G.A., Tovbis M.S.</i>	18
WORKING OUT THE OPTIMAL METHOD TO OBTAIN CHEMICAL-AND-SIZE HOMOGENOUS MAGNETITE NANOPARTICLES FOR BIOMEDICAL PURPOSES <i>Marnautov N.A., Komissarova L.Kh., Tatikolov A.S., Larkina E.A., Elfimov A.B., Vasilkov O.O.</i>	23
PHYSICOCHEMICAL REGULARITIES OF THE FUNCTIONAL GROUPS INFLUENCE ON GAS BARRIER PROPERTIES OF ELASTOMERIC COMPOSITIONS <i>Nagornaya M.N., Razdyakonova G.I., Khodakova S.Ya., Rummyantsev P.A.</i>	28
COMPARATIVE CHARACTERISTIC OF THE EFFICIENCY OF VARIOUS EXTRACTION METHODS OF POLYPHENOLS FROM PLANTS OF THE FAMILY LAMIACEAE <i>Popova O.S., Skrypnik L.N.</i>	34
CONTENT OF ORGANIC COMPOUNDS IN BOTTOM SEDIMENTS IN TWO STEPPE LAKES OF SOUTH SIBERIA <i>Serebrennikova O.V., Elchaninova E.A., Gladkikh M.A., Russkikh I.V., Strelnikova E.B., Erofeev V.I.</i>	39
THE INFLUENCE OF LINKS STEREOISOMERISM ON PROPERTIES OF HYDROGENATED BUTADIENE-NITRILE RUBBERS <i>Khorova E.A., Razdyakonova G.I., Khodakova S.Ya., Rummyantsev P.A.</i>	45

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

THE PRINCIPAL FACTORS OF IMPROVEMENT OF PRODUCTIVITY AND QUALITY OF SORGHUM SACCHARATUM GREEN MASS <i>Alabushev A.V., Kovtunova N.A., Romanyukin A.E., Gorpichenko S.I., Ermolina G.M.</i>	50
ON THE PROBLEM OF BIODIVERSITY PRESERVING AND WAYS OF ITS SOCUTION IN WOOD HARVESTING <i>Zalesova E.S., Zalesov S.V., Zalesov V.N., Opletaev A.S., Shubin D.A.</i>	56
IMPACT OF PINE ADMIXTURES IN GREEN-MOSS SPRUCE STANDS COMPOSITION ON THEIR STABILITY <i>Ivanchina L.A., Zalesov S.V.</i>	61
THE NATURAL REGENERATION ON THE LOGGING TERRITORIES OF PINE FORESTS ADJACENT TO THE MIDDLE ANGARA REGION <i>Runova E.M., Soloveva A.A.</i>	67

Earth sciences (25.00.00)

THE STAGES OF THE MIGRATION MOVEMENTS OF THE POPULATION IN NIZHNY NOVGOROD REGION <i>Arakcheeva O.V., Krivdina I.Yu.</i>	72
SPLIT WINDOW ALGORITHM APPLIED TO LAND SURFACE TEMPERATURE (LST) COMPUTATION BASING ON THERMAL SATELLITE IMAGERY <i>Zareie S.A., Nasiri A.M., Scherbakov V.M., Shirokova V.A.</i>	77

PALEOGEODYNAMIC SETTINGS OF THE WEST SAKHALIN TERRAIN SEDIMENTS FORMATION BASED ON GEOCHEMICAL DATA <i>Malinovskiy A.I.</i>	83
THE TYPIFICATION OF ELGA COAL RESOURCES ON THE BASIS OF THE COMPLEX STABILITY FACTOR <i>Skomoroshko Yu.N., Grib N.N., Kuznetsov P.Yu.</i>	90
THE ECOLOGICAL CONDITION OF THE CITY OF DZERZHINSK ON THE DEGREE OF SOIL POLLUTION WITH HEAVY METALS <i>Sotkina S.A., Badina O.N., Shevchenko I.A., Bikmaeva A.V.</i>	96
NATURAL BACKGROUNDS AND SOCIAL FACTORS OF FORMATION OF REGIONAL GEOBRAND «BARGUZIN MINERAL WATERS» <i>Shagzhiev K.Sh., Babikov K.A., Zhigmitova S.B., Mantatova A.V., Chernyavskiy M.K., Olennikov I.V.</i>	102
THE MAIN CHARACTERISTICS OF SUSTAINABLE REGIONAL DEVELOPMENT <i>Shayakhmetov M.S.</i>	108
SOIL MONITORING KEMEROVO REGION ON THE ARSENIC CONTENT <i>Shulgin N.V., Svirikova S.V., Efremenko M.P., Zaushintsena A.V., Shulgina O.A.</i>	113
ASSESSMENT OF CARBON DIOXIDE EXCHANGE IN THE COMMON SPRUCE IN VALDAY FOREST COMMUNITIES <i>Yuzbekov A.K., Ivaschenko A.I., Kumanyaev A.S.</i>	118
IMPACT OF THE SHORT-LIVED RADON DECAY PRODUCTS ON CHANGE OF GAMMA BACKGROUND DURING PRECIPITATION ON THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA <i>Yakovlev E.Yu., Druzhinin S.V., Bykov V.M.</i>	123

УДК 661.831.244.6/487:546.82

ПЕРЕРАБОТКА ОТРАБОТАННЫХ ТРАВИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ ФТОРИД ТИТАНА, ПЛАВИКОВУЮ И СОЛЯНУЮ КИСЛОТЫ

Быковский Н.А., Даминев Р.Р., Забиров Т.З., Пучкова Л.Н., Фанакова Н.Н.*ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
филиал, Стерлитамак, e-mail: nbikovsky@list.ru*

Изготовлению изделий из титана, особенно нанесению на его поверхность модифицирующих покрытий, препятствует прочная оксидная пленка. Удаление этой пленки производится различными методами. Большое распространение получила обработка поверхности титана кислотами. Одним из перспективных растворов для травления титана является смесь плавиковой и соляной кислот. В статье представлены результаты исследований переработки отработанного кислого травильного раствора (ОКТР), образующегося в процессе травления изделий из титана. Процесс переработки включает нейтрализацию ОКТР щелочью, фильтрацию, сушку и прокалку осадка гидроксида титана и электрохимическую переработку фильтрата, содержащего хлорид и фторид натрия в электролизере с ионообменными мембранами. В процессе электролиза получаются гидроксид натрия и смесь соляной и плавиковой кислот. Предлагаемая схема переработки ОКТР позволяет получить двуокись титана, гидроксид натрия и смесь кислот. Двуокись титана может использоваться в лакокрасочной промышленности. Щелочь может использоваться в процессе нейтрализации ОКТР. Смесь кислот пригодна для использования в процессе травления изделий из титана.

Ключевые слова: титан, травление, электролиз, ионообменные мембраны, щелочь, кислота

RECYCLING OF THE WASTE ETCHING SOLUTIONS CONTAINING TITANIUM FLUORIDE, HYDROFLUORIC AND HYDROCHLORIC ACIDS

Bykovskiy N.A., Daminev R.R., Zabirov T.Z., Puchkova L.N., Fanakova N.N.*Sterlitamak Branch of Ufa State Petroleum Technological University, Sterlitamak, e-mail: nbikovsky@list.ru*

The manufacture of titanium products especially the application of modifying surface coatings is prevented by a strong oxide film. This film is removed by various methods. Treatment of titanium surface by acids is widely used. One of the promising liquors for etching of titanium is a mixture of hydrofluoric and hydrochloric acids. The article presents the research findings on processing of spent acid pickling liquor (SAPL) formed during etching of titanium products. The processing includes neutralizing the SAPL with alkali, filtering, drying and calcining the titanium hydroxide precipitate as well as electrochemical processing of the filtrate in an ion-exchange membrane cell. The proposed SAPL processing procedure allows to obtain titanium dioxide, sodium hydroxide and a mixture of acids. Titanium dioxide can be used in paint-and-varnish industry. The alkali can be used in neutralizing the SAPL. A mixture of acids is suitable for use in etching process of titanium products.

Keywords: titanium, etching, electrolysis, ion-exchange membranes, alkali, acid

Интерес к титану и сплавам на его основе объясняется их хорошими конструктивными свойствами, высоким отношением прочности к плотности, большой коррозионной стойкостью, высокой температурой плавления. Все это определило применение титана в самых различных областях: авиации, ракетостроении, машиностроении, судостроении, химическом машиностроении, медицине и т.п.

Изготовлению изделий из титана, особенно нанесению на его поверхность модифицирующих покрытий, препятствует прочная оксидная пленка. Удаление этой пленки производится различными методами [1–3]. Большое распространение получила обработка поверхности титана кислотами [4]. Одним из перспективных растворов для травления титана является смесь плавиковой и соляной кислот. В результате трав-

ления титана этим раствором образуется отработанный кислый травильный раствор (ОКТР), содержащий в своем составе фторид титана, плавиковую и соляную кислоты. Этот раствор является достаточно токсичным и перед сбросом должен подвергаться или многократному разбавлению или переработке. Существующие методы переработки ОКТР приводят к получению осадков гидроокиси титана и веществ, содержащих фториды. В результате возникает проблема утилизации этих осадков [5–7].

Цель работы

В статье представлены результаты исследований по переработке ОКТР с получением гидроксида титана и смеси кислот, пригодных для приготовления травильного раствора, используемого в производстве изделий из титана.

Материалы и методы исследования

Исследовалась переработка ОКТР, полученного в процессе травления титана смесью плавиковой и соляной кислот. ОКТР содержал 21,9 г/л фторида титана, 1,7 г/л плавиковой кислоты и 6,2 г/л соляной кислоты.

Процесс переработки состоял из ряда операций. Вначале ОКТР нейтрализовался NaOH и после выпадения осадка $Ti(OH)_4$ фильтровался. Осадок $Ti(OH)_4$ сушили и прокаливали. Фильтрат, содержащий NaF и NaCl, подвергался электрохимической переработке в мембранном электролизере, схема которого приведена на рис. 1.

Электролизер состоял из четырех камер – катодной 1, анодной 4 и двух средних 2, 3. Для разделения камер применяли катионообменную К и анионообменную А мембраны марки МК-40 и МА-40 соответственно. Электродные камеры выполнены в виде углублений размером 5 мм в плитах из оргстекла. Средние камеры из-

готовлены в виде рамок из поливинилхлоридной пластины толщиной 2 мм. В качестве электродов использовали пластинки из титана, покрытые окисью рутения. Вся конструкция шпильками стягивалась в единый пакет. Для предотвращения контакта между ионообменными мембранами в камеры помещали сетку просечную растянутую из каландрированного винипласта. Рабочая поверхность каждой ионообменной мембраны составляла величину 30 см².

Через среднюю камеру 2 электролизера прокачивали исследуемый раствор, содержащий фторид и хлорид натрия. Под действием электрического тока ионы натрия переносились в катодную камеру 1 аппарата. В этой камере на катоде происходило разложение воды с выделением водорода и образованием ионов гидроксила. В результате в катодной камере концентрировался раствор щелочи. Катодная камера была непроточной, и щелочь, накапливающаяся в ней, самотеком покидала камеру и собиралась в емкости 10.

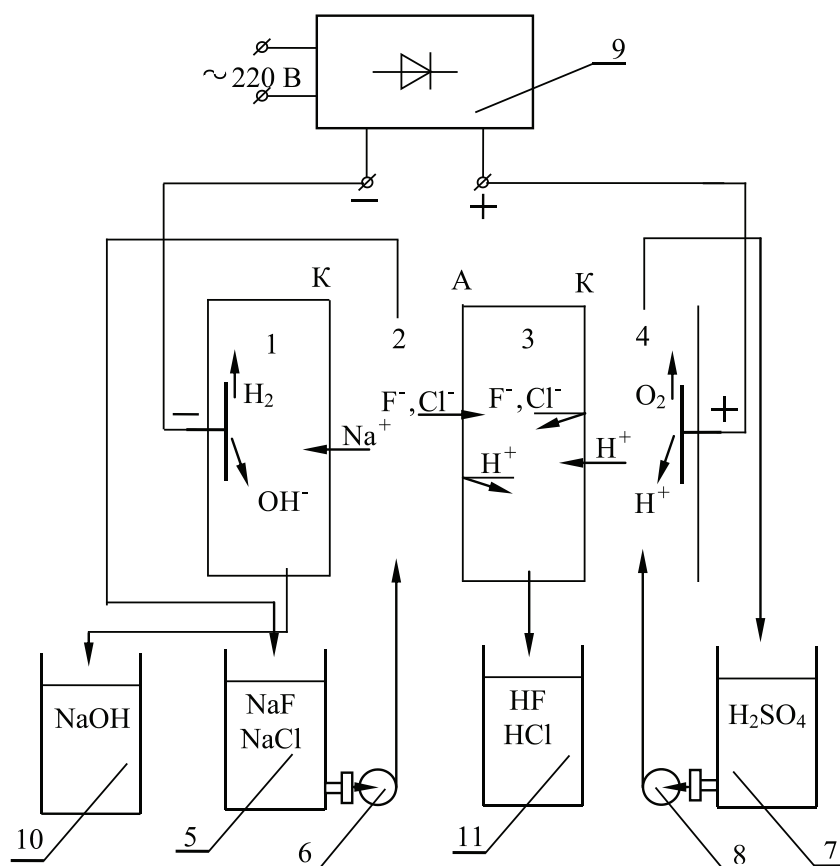


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1, 2, 3, 4 – камеры электролизера; 5 – емкость с фильтратом; 6, 8 – насосы; 7 – емкость с серной кислотой; 9 – источник постоянного тока; 10 – емкость со щелочью; 11 – емкость с плавиковой и соляной кислотами

Ионы фтора и хлора мигрировали через анионообменную мембрану в камеру 3 аппарата. Дальнейшему продвижению их к аноду препятствовала катионообменная мембрана. Через анодную камеру 4 прокачивали 0,1 н раствор серной кислоты. При этом на аноде разлагалась вода с выделением кислорода и образованием ионов водорода, которые, переносились в камеру 3 электролизера. В этой камере происходило концентрирование плавиковой и соляной кислот, самотеком вытекающих из аппарата по мере их накопления и собирающихся в емкости 5. Для обеспечения необходимой электропроводности электролизера в начальные моменты времени в катодную 1 заливали 0,1 н раствор гидроксида натрия, а в 3 камеру электролизера заливали 0,1 н раствор соляной кислоты. Для питания электролизера использовали регулируемый выпрямитель, позволяющий обеспечивать необходимую токовую нагрузку.

Через каждые 30 мин растворы, собирающиеся в емкостях 10 и 11, анализировались на содержание щелочи, а так же соляной и плавиковой кислот.

Результаты исследования и их обсуждение

В процессе растворения титана в смеси плавиковой и соляной кислот образуется раствор фиолетового цвета. Это указывает на то, что в процессе растворения образуется фторид трехвалентного титана, который окисляется кислородом воздуха до четырехвалентного. Однако этот процесс протекает в течение суток. Для исследования процесса извлечения титана из ОКТР его свежеприготовленный обработкой щелочью к ряду проб, содержащих по 50 мл ОКТР, добавляли различное количество гидроксида натрия. После образования осадка гидроксида титана его отфильтровывали, сушили и прокачивали при температуре 900 °С в течение 1 часа. При этом гидроксид титана переходил в двуокись. Максимальное количество двуокиси титана, которое при этом может быть получено равно 0,835 г. В фильтрате определяли величину рН. Зависимость степени извлечения тита-

на из ОКТР его обработкой щелочью от рН фильтрата представлена в таблице.

Оценка погрешности полученных результатов при осаждении и прокалке с использованием распределения Стьюдента [8] по последним шести результатам показала, что при доверительной вероятности 95% относительная погрешность не превышает 1%.

Увеличение рН фильтрата после выделения гидроксида титана до значения, равного 7,6 приводит к росту степени извлечения титана из ОКТР. При рН фильтрата более чем 7,6 степень извлечения титана из ОКТР достигает величины 100%. Оптимальное значение рН фильтрата после обработки ОКТР гидроксидом натрия находится в пределах 7,6–7,8.

Процесс электрохимической переработки фильтрата, полученного из ОКТР после его обработки щелочью исследовали при мембранных плотностях тока 200 А/м², 400 А/м², 600 А/м² и 800 А/м², что соответствовало токовой нагрузке на электролизере 0,6 А, 1,2 А, 1,8 А и 2,4 А. Процесс электрохимической обработки вели до тех пор, пока концентрация растворов гидроксида натрия и смеси соляной и плавиковой кислот не перестанет расти. Таким образом, получали максимальную концентрацию продуктов электрохимической переработки фильтрата.

На рис. 2 представлена зависимость концентрации гидроксида натрия от времени электрохимической обработки фильтрата при различной токовой нагрузке на электролизере.

Оценка относительной погрешности результатов полученных при электрохимической обработке ОКТР по описанной ранее методике при доверительной вероятности 95% не превышает 6,3%

Скорость образования гидроксида натрия возрастает с увеличением плотности тока. Так при плотности тока 200 А/м² скорость концентрирования щелочи равна 26,1 г/л·ч, а при плотности тока 800 А/м² – 179,2 г/л·ч. Максимальная концентрация гидроокиси натрия в катодной камере достигнута при плотности тока 800 А/м² через 5 часов и составила 374 г/л.

Зависимость степени извлечения титана из ОКТР от рН фильтрата

рН	3,75	5,5	6,45	7,2	7,6	7,8	9,4	9,85	10,6	12,8
Масса TiO ₂ , г	0,724	0,765	0,799	0,815	0,830	0,835	0,836	0,835	0,834	0,837
Степень извлечения, %	86,7	91,6	95,7	97,6	99,4	100	100	100	99,9	100

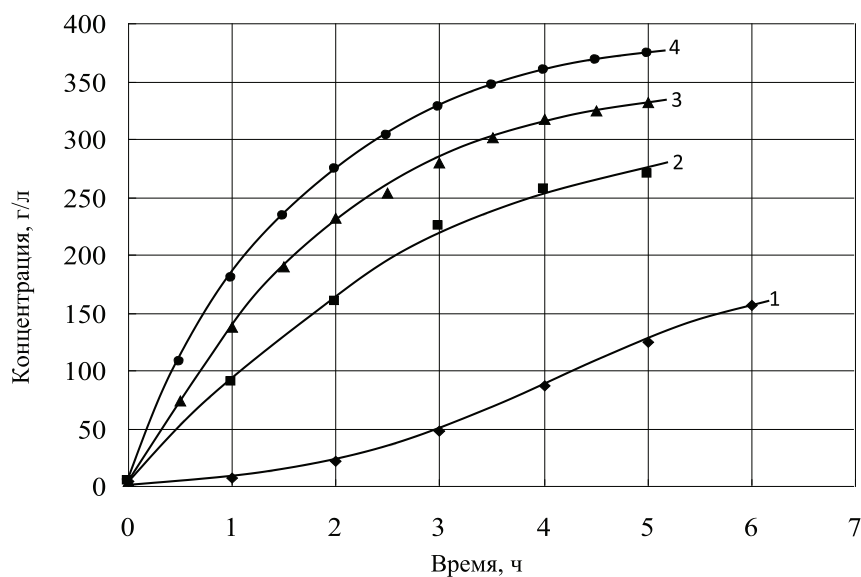


Рис. 2. Зависимость концентрации NaOH от времени, плотность тока, A/m^2 :
1 – 200; 2 – 400; 3 – 600; 4 – 800

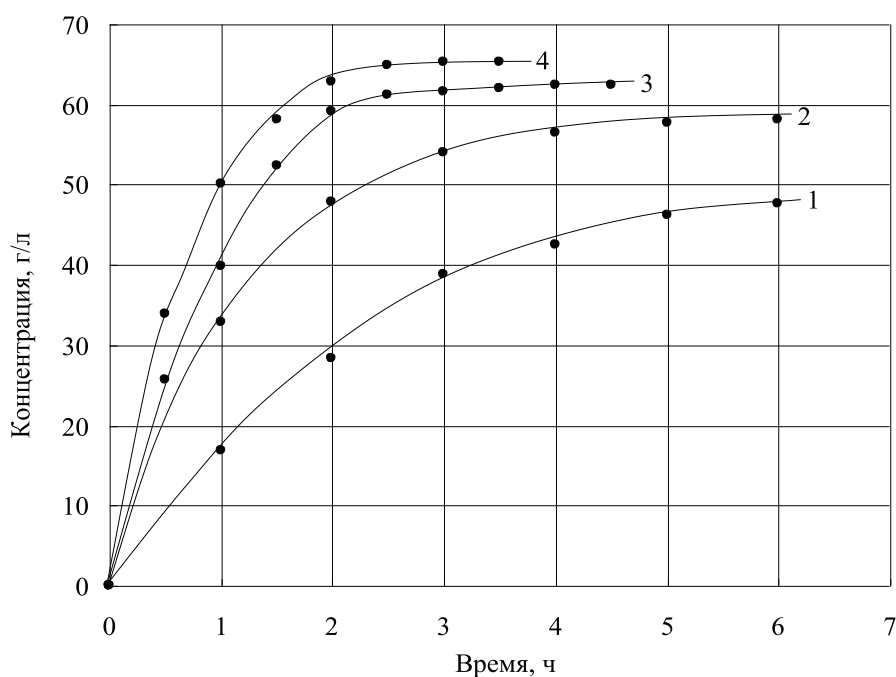


Рис. 3. Зависимость концентрации HF от времени, плотность тока, A/m^2 :
1 – 200; 2 – 400; 3 – 600; 4 – 800

На рис. 3 приведена зависимость концентрации плавиковой кислоты в камере концентрирования кислот от времени электрохимической обработки фильтрата при различной токовой нагрузке на электролизере. Скорость концентрирования плавиковой кислоты увеличивается с повышением

токовой нагрузки на электролизере. При плотности тока $200 A/m^2$ скорость образования плавиковой кислоты равна $16,8 \text{ г/л} \cdot \text{ч}$, а при плотности тока $800 A/m^2$ – $33,1 \text{ г/л} \cdot \text{ч}$. Максимальная концентрация плавиковой кислоты наблюдается при плотности тока $800 A/m^2$ и составляет величину $65,2 \text{ г/л}$.

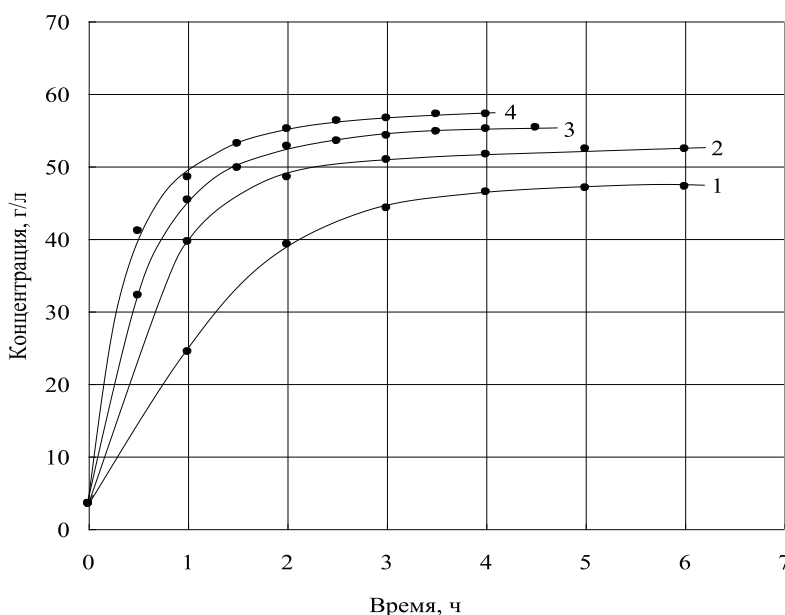


Рис. 4. Зависимость концентрации HCl от времени, плотность тока A/m^2 :
1 – 200; 2 – 400; 3 – 600; 4 – 800

На рис. 4 представлена зависимость концентрации соляной кислоты в камере концентрирования кислот от времени электрохимической обработки фильтрата при различной токовой нагрузке на электролизере.



Рис. 5. Технологическая схема переработки ОКТР

Характер изменения концентрации соляной кислоты от времени обработки аналогичен рассмотренным ранее. Скорость концентрирования соляной кислоты выше, чем плавиковой кислоты. При плотности тока 200 A/m^2 она равна 24,5 г/л·ч, а при плотности тока 800 A/m^2 – 40,9 г/л·ч. Максимальная концентрация соляной кислоты наблюдается при плотности тока 800 A/m^2 и составляет величину 51,1 г/дм³.

На основании результатов, полученных при исследовании процесса переработки ОКТР, предлагается технологическая схема, представленная на рис. 5. ОКТР обрабатывается гидроксидом натрия до pH 7,6–7,8. Осадок гидроксида титана отфильтровывается, сушится и прокаливается. Получающаяся при этом двуокись титана может использоваться в лакокрасочной промышленности. Фильтрат, содержащий фториды и хлориды натрия, перерабатывается в мембранном электролизере. В результате получается гидроксид натрия с концентрацией до 374 г/л и смесь соляной и плавиковой кислот с концентрацией около 51,1 г/л и 65,2 г/л соответственно. Гидроксид натрия может использоваться в процессе нейтрализации ОКТР, а смесь плавиковой и соляной кислот – в процессе травления поверхности титана.

Список литературы

1. Formanoir C. Improving the mechanical efficiency of electron beam melted titanium lattice structures by chemical etching / C. Formanoir, M. Suard, R. Dendievel, G. Martin, S. Goden // *Additive Manufacturing*. – 2016. – Vol. 11. – P. 71–76.
2. Liu Z. Chemical etching behavior of bromine-methanol electrolyte / Z. Liu, I-L. Tsai, G.E. Thompson, H. Liu, U. Donatus // *Materials Chemistry and Physics* – 2015. – Vol. 160. – P. 329–336.
3. Marin E. Effect of etching on the composition and structure of anodic spark deposition film on titanium / M.V. Diamanti, M. Boffelli, M. Sendoh, M. Pedferri, A. Mazinani, M. Moscatelli, B. Curto, W. Zhu, G. Pezzotti, R. Chiesa // *Materials & Design*. – 2016. – Vol. 108. – P. 77–85.
4. Усова В.В. Травление титана и его сплавов / В.В. Усова, Т.П. Плотникова, С.А. Кушакевич. – М.: Металлургия, 1984. – 127 с.
5. Пат. 2289638 Россия, МПК C23F1/46 Способ регенерации отработанных травильных кислых растворов, образующихся при обработке титановых сплавов / Трубин А.Н., Гиль Г.И.; заявитель и патентообладатель: ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА». – № 2005122756/02; заявл. 18.07.2005; опубл. 20.12.2006, Бюл. № 35.
6. Пат. 2596564 РФ, МПК C23F1/46, C23G1/36. Способ регенерации отработанных кислых травильных растворов, образующихся при обработке изделий из титана / Быковский Н.А., Низов В.А., Фанакова Н.Н.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет». – № 2015113659/02; заявл. 13.04.2015; опубл. 10.09.2016, Бюл. № 25.
7. Tongwen X. Industrial recovery of mixed acid (HF + HNO₃) from the titanium spent leaching by diffusion dialysis with a new series of anion exchange membranes / X. Tongwen, Y. Weihua // *Journal of Membrane Science*. – 2003. – Vol. 220. – P. 89–95.
8. ГОСТ Р 8.736-2011. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. – М.: Стандартинформ, 2013. – 23 с.

УДК 544.72 (571.54)

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРИРОДНЫХ ГЛИН МЕСТОРОЖДЕНИЙ БУРЯТИИ

Дашинамжилова Э.Ц., Ханхасаева С.Ц., Брызгалова Л.В., Савина А.А.

Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ, e-mail: edash@binm.bscnet.ru

В результате проведенного исследования были определены гранулометрический, химический и минералогический составы глинистых пород двух месторождений Бурятии. Установлено, что глинистые породы изученных месторождений являются представителями монтмориллонит-каолинит-гидрослюдистых глин. Согласно результатам рентгенофазового анализа порошков глин наибольшим содержанием монтмориллонита отличалась обогащенная проба месторождения Мухортала. На термограмме глины данного месторождения наблюдались термоэффекты, характерные для монтмориллонита. Величина удельной поверхности обогащенных проб природных глин, определенная методом низкотемпературной адсорбции азота, изменялась в ряду: мухортальская ($100 \text{ м}^2/\text{г}$) > тарятская ($65 \text{ м}^2/\text{г}$), что соответствовало уменьшению в них доли монтмориллонита. Результаты тестирования адсорбционных свойств показали, что глина месторождения Мухортала характеризуется высокой способностью к адсорбции катионного красителя «метиленовый голубой».

Ключевые слова: природная глина, монтмориллонит, химический и минералогический состав, удельная поверхность, катионообменная емкость

PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF NATURAL CLAYS OF DEPOSITS OF BURYATIA

Dashinamzhilova E. Ts., Khankhasaeva S. Ts., Bryzgalova L. V., Savina A. A.

Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Ulan-Ude, e-mail: edash@binm.bscnet.ru

As a result of the study, granulometric, chemical and mineralogical compositions of clay rocks of two deposits of Buryatia were determined. It has been established that clay rocks of studied deposits are representatives of montmorillonite-kaolinite-hydromica clays. According to the results of the x-ray diffraction analysis of clay powders, the enriched sample of the Mukhortala deposit was distinguished by the greatest content of montmorillonite. Thermal effects of the clay of this deposit were observed to be characteristic for montmorillonite. The specific surface area of the enriched samples of natural clays, determined by the method of low-temperature adsorption of nitrogen, varied in the series: Mukhortala clay ($100 \text{ м}^2 / \text{g}$) > Tarjat clay ($65 \text{ м}^2 / \text{g}$), which corresponded to a decrease of the montmorillonite proportion in those. The results of the adsorption properties testing had shown that the clay of the Mukhortala's deposit was characterized by a high ability to adsorb cationic dye «methylene blue».

Keywords: natural clay, montmorillonite, chemical and mineralogical composition, specific surface, cation-exchange capacity

Глинистые минералы составляют до 75% осадочных пород земной коры. Их месторождения создаются в результате выветривания базальтовых, гранитовых пород, вулканических пеплов, туфов и пемз. Химический состав глинистых минералов в основном представлен оксидами следующих элементов: SiO_2 (30–70%), Al_2O_3 (10–40%) и H_2O (5–10%). В соответствии с рекомендациями Международной комиссии по глинам [1] «кристаллическими глинистыми минералами являются филлосиликаты, для которых характерны псевдогексагонально расположенные кремнекислородные тетраэдры, соединенные с октаэдрическими слоями; они обычно представлены частицами малой величины и обладают способностью давать с водой более или менее пластичные агрегаты». Кристаллохимическая классификация глинистых минералов Франк-Каменецкого [2] подразделяет минералы этого класса на слоистые и слоисто-ленточные силикаты. В основе структур слоистых

силикатов лежат тетраэдрическая кремнекислородная SiO_4 (Т-сетка) и октаэдрическая Al или Mg кислородно-гидроксильная сетка $\text{Al}(\text{O},\text{OH})_6$ или $\text{Mg}(\text{O},\text{OH})_4$ (О-сетка). Каждый слоистый минерал представляют собой определенную комбинацию слоев, состоящих из этих сеток [2]. Физико-химические свойства глинистых минералов во многом определяются их кристаллохимическими особенностями и высокой дисперсностью. Наибольшее применение в различных отраслях промышленности и водоочистки находят бентонитовые глины, основным порообразующим минералом которых является монтмориллонит, диоктаэдрический слоистый алюмосиликат типа 2:1. Высокая эффективность применения бентонитовых глин в процессах водоочистки от катионов металлов и катионных органических красителей обусловлена высокой обменной емкостью монтмориллонита и способностью его кристаллической структуры к расширению [3, 4]. Бентониты обладают хорошей

сорбционной способностью по отношению к основным красителям и могут быть использованы в процессе очистки сточных вод [5, 6]. Природные и модифицированные глины также могут использоваться для очистки воды от дисперсных примесей, неионогенных поверхностно-активных веществ и фенолов [7–9]. Адсорбционные свойства глинистых минералов различных месторождений и возможность использования их для очистки сточных вод определяются их химическим и минералогическим составом, а также их физико-химическими свойствами, такими как дисперсность, пористость, сорбционная емкость.

Целью настоящего исследования является изучение физико-химических свойств природных глин месторождений Мухортала и Таряты Республики Бурятия.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования являлись пробы глинистых пород месторождений Бурятии. Исходная глина месторождения Мухортала по внешнему виду была белой рыхлой, слабо уплотненной; глина месторождения Таряты – сухарной, ярко-бурого цвета, с примесями щебня (38,6%) и небольшим содержанием органических остатков. Для удаления пустой породы и увеличения содержания глинистых минералов были получены обогащенные пробы глин методом гравитации с выстаиванием водных суспензий глин в течение 24 ч и последующим выделением верхней фракции путем декантации. При воздействии на частицы исходных глин с размером 1 мм раствором 10%-ной HCl наблюдалось слабое вскипание проб, что свидетельствовало о присутствии в них незначительной примеси карбонатных включений. Гранулометрический состав определялся седиментационным методом по ГОСТ 21216.2-93 [10]. В качестве диспергатора использовался водный раствор пиррофосфорнокислого натрия с концентрацией 40 г/л. Химический анализ исследуемых глин проводился согласно ГОСТ 2642-86 [11]. Рентгенофазовый анализ порошков глин проводили на автоматическом дифрактометре D8 Advance фирмы Bruker ($\lambda_{\text{CuK}\alpha}$, максимальный угол $2\theta = 100^\circ$, шаг сканирования 0,02076). Для термического анализа глины была использована термоаналитическая система для проведения синхронных ДСК/ДТА/ТГ анализов STA 449F3 Jupiter. Удельную поверхность глины определяли по методу БЭТ [12] по изотерме низкотемпературной адсорбции азота при

77 К, которая была снята на установке ТермоСорб LP. Изучение адсорбции проводили по методу ограниченного объема: навеску глины с рассчитанной массой (1,0 г/л) помещали в колбу, заливали водным раствором красителя «метиленовый голубой» (МГ) с заданной начальной концентрацией (0,31–10,9 ммоль/л), перемешивали со скоростью 180 об/мин в течение 5 ч (время установления равновесия) на устройстве ЛАБ-ПУ-01, затем отделяли сорбент от жидкости путем центрифугирования. Концентрацию МГ в водном растворе определяли по калибровочному графику зависимости оптической плотности от концентрации красителя. Оптическую плотность раствора измеряли на спектрофотометре UV-Vis Agilent 8453 (Agilent Technologies, США) при 660 нм. Величину адсорбции (a) рассчитывали по формуле

$$a = \frac{C_0 - C_t}{m} V, \quad (1)$$

где a – количество красителя, адсорбированного на 1 г сорбента в момент времени, соответствующий равновесию (ммоль/г); C_0 – начальная концентрация раствора красителя, ммоль/л, C_t – концентрация раствора красителя при равновесии, ммоль/л, m – масса сорбента, г, V – объем раствора красителя, л.

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1 приведены результаты анализа гранулометрического состава глин, которые свидетельствуют о том, что исследуемая проба исходной глины месторождения Таряты (проба 3) по содержанию тонкодисперсной фракции (размером менее 1 мкм) по ГОСТ 9169-75 [13] относится к группе грубодисперсного глинистого сырья, а согласно диаграмме Охотина проба представляет собой пылеватую глину с содержанием глинистых частиц более 30%. Тарятская глина в исходном виде (проба 3) имеет высокое содержание песчаной фракции, что позволяет характеризовать ее как запесоченную глину.

Из анализируемых глин мухорталинская глина (проба 1) относится к группе тонкодисперсного глинистого сырья и представляет собой пластичную глину. Результаты химического анализа исследуемых глин приведены в табл. 2.

Минералогический состав тонкодисперсных фракций глинистых пород устанавливался методом РФА. Согласно результатам РФА все пробы исходных глин являются представителями глинистого

сырья полиминерального состава, так как их глинистая часть состоит из смеси монтмориллонита, гидрослюда в виде иллита и каолинита, и представляют собой монтмориллонит-каолинит-гидрослюдистые глины. Наибольшее количество глинистых минералов имеет мухорталинская глина в обогащенной форме. Данная глина была выбрана для дальнейшего исследова-

ния. На дифрактограмме (рис. 1) мелкодисперсной фракции мухорталинской глины ($< 0,001$ мм) присутствуют рефлексы при $2\theta = 6,30^\circ$, $19,83^\circ$, $35,01^\circ$, $54,04^\circ$ и $62,00^\circ$ ($d = 14,02$; $4,47$; $2,56$; $1,69$ и $1,49$ Å), которые соответствуют монтмориллониту [10, 11], и рефлексы при $2\theta = 21,90^\circ$, $28,50^\circ$, $31,50^\circ$ и $36,05^\circ$ ($d = 4,06$; $3,14$; $2,84$; $2,49$ Å), соответствующие примеси – кристобалиту [14].

Таблица 1

Гранулометрический состав глинистых пород

Глины	Содержание, %, фракции размером, мм					
	1–0,25	0,25–0,06	0,06–0,08	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001
мухорталинская глина						
проба 1	0,69	1,53	21,54	1,84	20,40	54,00
проба 2	0,01	0,08	15,27	3,96	18,64	62,04
тарятская глина						
проба 3	32,45	12,01	10,74	9,84	9,84	25,12
проба 4	1,56	9,17	43,39	5,96	5,96	27,92

Примечание. Пробы 1, 3 – исходная глина, пробы 2, 4 – обогащенная глина.

Таблица 2

Химический состав глин

Глины	Содержание оксидов, % мас.								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	$\Delta m_{\text{прк}}$
мухорталинская глина									
проба 1	68,06	11,54	1,56	2,75	1,48	0,14	0,18	следы	14,27
проба 2	67,90	12,51	2,02	2,15	1,53	0,20	0,48	следы	13,20
тарятская глина									
проба 3	65,12	12,49	2,91	2,74	2,45	2,72	3,36	0,10	8,11
проба 4	64,07	13,29	3,18	2,61	3,01	3,08	3,92	0,10	6,74

Примечание. $\Delta m_{\text{прк}}$ – потеря массы при прокаливании.

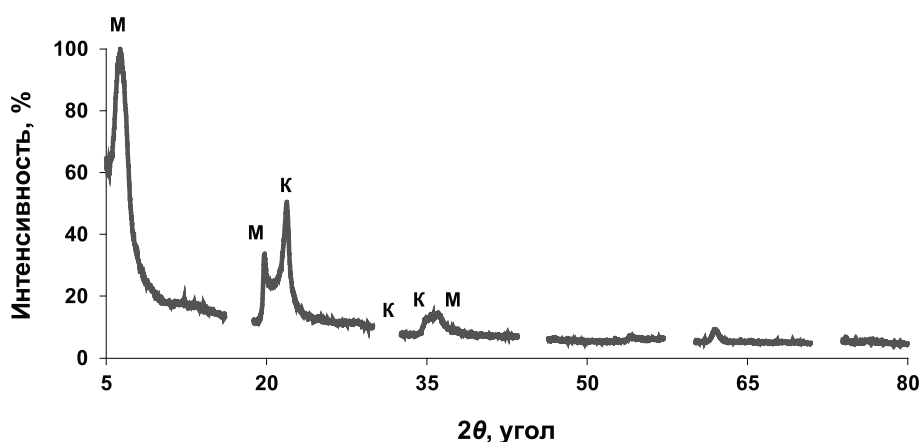


Рис. 1. Дифрактограмма мелкодисперсной фракции ($< 0,001$ мм) глины месторождения Мухортала (M – монтмориллонит, K – кристобалит)

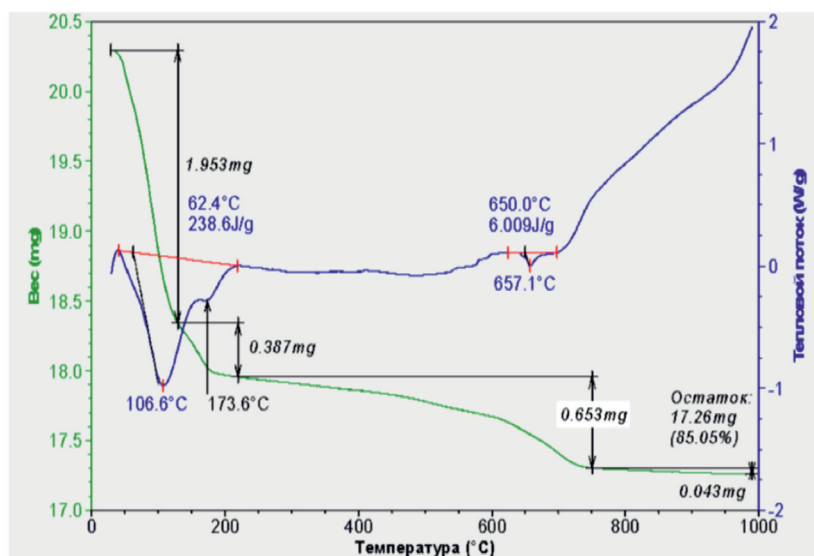


Рис. 2. Кривая ДСК-ТГ природной глины месторождения Мухортала

Таблица 3

Результаты адсорбции красителя МГ на глине месторождения Мухортала

С _{нач} , ммоль/л	0,31	0,94	1,87	2,50	3,12	6,25	7,82	9,38	10,90
а, ммоль/г	0,03	0,09	0,18	0,24	0,31	0,50	0,54	0,55	0,55

На кривой ДСК-ТГ (рис. 2) мухорталинской глины наблюдаются термоэффекты, характерные для монтмориллонита [14]: 106,6, 173,6, 657,1 °С. Эндотермические эффекты (106,6, 173,6 °С) соответствуют выделению из минерала адсорбированной воды, что сопровождается потерей веса 11 %.

Следующий эффект менее интенсивен и обусловлен потерей конституционной воды, представленной гидроксильными группами алюмосиликатных слоев минерала. При 500–700 °С образуется безводная модификация и происходит разрушение слоистой структуры монтмориллонита. При дальнейшем повышении температуры следует экзотермическая реакция, которая сопровождается перекристаллизацией аморфных продуктов разложения монтмориллонита с образованием стекловидных фаз [14].

Благодаря доступности и дешевизне, широкому распространению в природе, а также наличию адсорбционных центров различной природы глинистые минералы находят все большее применение в сорбционных технологиях. Одним из важных факторов, от которых зависит адсорбци-

онная способность сорбентов, является их удельная поверхность. Величина удельной поверхности обогащенных проб природных глин, определенная методом низкотемпературной адсорбции азота, изменялась в следующей последовательности: мухорталинская (100 м²/г) > тарятская (65 м²/г), что соответствовало уменьшению в них доли монтмориллонита. На основании полученных результатов о минералогическом составе и удельной поверхности можно заключить, что глина месторождения Мухортала представляет большой интерес для применения в качестве сорбента для очистки воды от катионов. Фракция данной глины с размером частиц < 0,005 мм была протестирована в адсорбции катионного красителя «метиленовый голубой» (МГ), который часто используется в качестве стандартного органического адсорбата в водных растворах [15]. Величина адсорбции (а) красителя на глине составляет 0,55 ммоль/г (176 мг/г), что свидетельствует о высокой катионообменной емкости данной глины (табл. 3).

Полученные результаты показывают, что глина месторождения Мухортала является эффективным сорбентом для удаления

из воды катионных органических красителей и представляет практический интерес для применения в процессах водоочистки и водоподготовки.

Заключение

В работе определены гранулометрический, химический и минералогический составы глинистых пород месторождений Бурятии. Установлено, что глинистые породы изученных месторождений являются представителями глинистого сырья полиминерального состава и представляют собой монтмориллонит-каолинит-гидрослюдистые глины. Наибольшее количество глинистых минералов имеет мухорталинская глина. Согласно результатам РФА и термического анализа основным минералом в составе данной глины является монтмориллонит. Величина удельной поверхности обогащенных проб природных глин уменьшается соответственно понижению в них доли монтмориллонита. Результаты тестирования адсорбционных свойств мухорталинской глины по отношению к красителю «метиленовый голубой» показали, что данная глина является эффективным сорбентом для удаления из воды катионных органических красителей.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (p_a №16-43-030852).

Список литературы

1. Материалы к классификации глинистых минералов. Информационный бюллетень комиссии по изучению глин [Текст] // ИГЕМ АН СССР. – М., 1961. – 50 с.
2. Тарасевич Ю.И. Адсорбция на глинистых минералах. [Текст] / Ю.И. Тарасевич, Ф.Д. Овчаренко. – Киев: Наук. думка, 1975. – 351 с.
3. Bhattacharyya K.G., Gupta S.S. Kaolinite and montmorillonite as adsorbents for Fe(III), Co(II) and Ni(II) in aqueous medium // Applied Clay Science. – 2008. – Vol. 41, № 1–2. – P. 1–9.
4. Sari A., Tuzen M., Citak D., Soylak M. Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies of adsorption of Pb(II) from aqueous solution onto Turkish kaolinite clay // Journal of Hazardous Materials. – 2007. – Vol. 149, № 2. – P. 283–291.
5. Elaziouti A., Laouedj N. Effects of pH and Temperature on the Adsorption of Cationic Dyes from Aqueous Suspension by Maghnia Montmorillonite // J. Korean Chem. Soc. – 2011. – Vol. 55, № 2. – P. 208–217. <https://doi.org/10.5012/jkcs.2011.55.2.208>.
6. Bulut E., Özacar M., Şengil İ.A. Adsorption of malachite green onto bentonite: Equilibrium and kinetic studies and process design // Microporous and Mesoporous Materials. – 2008. – Vol. 115, № 3. – P. 234–246.
7. Toor M., Jin B. Adsorption characteristics, isotherm, kinetics, and diffusion of modified natural bentonite for removing diazo dye // Chemical Engineering Journal. – 2012. – Vol. 187. – P. 79–88.
8. Структурные особенности сорбентов на основе алюмосиликатов, модифицированных нанокуглеродными продуктами термораспада органических прекурсоров [Текст] / Д.П. Шолудько [и др.] // Наноструктурное материаловедение. – 2009. – № 4. – С. 83–92.
9. Бадмаева С.В. Закономерности адсорбции фенола из водных растворов на углеродминеральных материалах, полученных из бентонитовой глины [Текст] / С.В. Бадмаева, С.Ц. Хангасаева // Коллоидный журнал. – 2015. – Т. 77, № 6. – С. 691–697.
10. ГОСТ 21216.2-93 Сырье глинистое. Метод определения тонкодисперсных фракций [Текст]. – Взамен ГОСТ 21216.2-81; Введ. 1995-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1994. – 8 с.
11. ГОСТ 2642–86. Огнеупоры и огнеупорное сырье. Методы определения оксидов кальция, магния, железа (III) [Текст]. – Взамен ГОСТ 2642–81; Введ. 1987-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 661 с.
12. Карнаухов А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов [Текст]. / А.П. Карнаухов. – Новосибирск: Наука; Сиб. предприятие РАН, 1999. – 470 с.
13. ГОСТ 9169-75 Сырье глинистое для керамической промышленности. Классификация [Текст]. – Взамен ГОСТ 9169-59; Введ. с 01.07.76. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.
14. Адсорбционные свойства продуктов обогащения природных монтмориллонитсодержащих глин [Текст]. / А.И. Везенцев [и др.] // Научные ведомости Белгородского государственного университета, серия: естественные науки. – 2011. – Т. 15, № 9. – С. 103–109.
15. Almeida C.A.P., Debacher N.A., Downs A.J., Cottet L., Mello C.A.D. Removal of methylene blue from colored effluents by adsorption on montmorillonite clay // Journal of Colloid and Interface Science. – 2009. – Vol. 332, № 1. – P. 46–53.

УДК 547.564.2/.828.2:544.354.081.7

**КИСЛОТНОСТЬ ПЕРЗАМЕЩЕННЫХ ПАРА-НИТРОЗОФЕНОЛОВ,
СОДЕРЖАЩИХ ПИРИДИНОВЫЙ ЗАМЕСТИТЕЛЬ****¹Кукушкин А.А., ¹Привалихина А.П., ^{1,2}Роот Е.В., ¹Слащинин Д.Г.,
¹Субоч Г.А., ¹Товбис М.С.**¹Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М.Ф. Решетнева,
Красноярск, e-mail: tovbis@bk.ru;²Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого,
Красноярск

Существует ряд полностью замещенных нитрозофенолов со сложноэфирными группами и метильными заместителями в кольце, для которых известны константы кислотности, значения которых составляют 5,33–5,64. В настоящей работе впервые определены значения рКа для недавно синтезированных нитрозофенолов, содержащих одновременно алкоксикарбонильные группы и пиридиновый заместитель в ароматическом ядре. Исследование проводилось спектрофотометрическим методом при температуре 25 °С в цитратных буферных растворах. Зависимость изменения кислотности при увеличении алкильного заместителя сложноэфирной группы, показанная для нитрозофенолов с метильными группами в кольце, сохраняется для нитрозофенолов с пиридиновым фрагментом. Установлено, что введение пиридинового заместителя повышает кислотность примерно на порядок в сравнении с известными перзамещенными нитрозофенолами. Такое увеличение кислотности хорошо объясняется проявлением отрицательного мезомерного эффекта атома азота, которое возможно при условии копланарности пиридинового и бензольного колец.

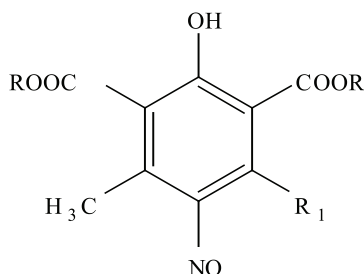
Ключевые слова: константа кислотности, перзамещенный нитрозофенол, пиридиновый заместитель, спектрофотометрия

**ACIDITY OF EXHAUSTIVELY SUBSTITUTED PARA-NITROSOPHENOLS
WITH PYRIDINE SUBSTITUENTS****¹Kukushkin A.A., ¹Privalikhina A.P., ^{1,2}Root E.V., ¹Slaschinin D.G.,
¹Suboch G.A., ¹Tovbis M.S.**¹Siberian State Aerospace University. Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, e-mail: tovbis@bk.ru;²Krasnoyarsk State Medical University named after prof. Voino-Yasenetsky, Krasnoyarsk

There are a number of exhaustively substituted nitrosophenols with ester groups and methyl substituents in the ring. Acidity constants values are 5.33–5.64 for this nitrosophenols. In the present work, the values of pKa for the newly synthesized nitrosophenols containing simultaneously alkoxy-carbonyl groups and the pyridine substituent in the aromatic ring were determined for the first time. The study was performed spectrophotometrically at a temperature of 25 °C in citrate buffer solutions. The dependence of the change in acidity with increase in the alkyl substituent of ester groups is the same for nitrosophenols with methyl groups in the ring and for nitrosophenols with a pyridine substituent. It was found the introduction of a pyridine substituent increases acidity by about an order of magnitude in comparison with the known persubstituted nitrosophenols. This increase in acidity is well explained by the manifestation of a negative mesomeric effect of nitrogen atom. It is possible under the condition of co-planarity of the pyridine and benzene rings.

Keywords: acidity constant, exhaustively substituted para-nitrosophenol, pyridine substituent, spectrophotometry

Известны перзамещенные *пара*-нитрозофенолы, содержащие сложноэфирные группы в *орто*-положениях по отношению к гидроксильной [10]:



Их получают методом циклоконденсации изонитрозо-β-дикарбонильных соединений с эфирами ацетондикарбоновой кислоты в щелочных средах.

С помощью метода РСА в порошке было строго доказано, что эти соединения, в отличие от всех известных нитрозофенолов, димеризованы по типу азодиоксидов [6]. Строение димера, выясненное с помощью метода РСА в порошке для перзамещенного нитрозофенола [10], приведено на рис. 1.

Такие перзамещенные нитрозофенолы позволяют с помощью гидрирования легко получать соответствующие гексазамещенные аминифенолы [7], которые являются основой для синтеза современных противоритмических препаратов [9]. Эти препараты получают модификацией перзамещенных *пара*-аминифенолов и представляют собой диалкил 5-[(N,N-диэтилглицил)амино]-2-гидрокси-4,6-диметилизофталаты.

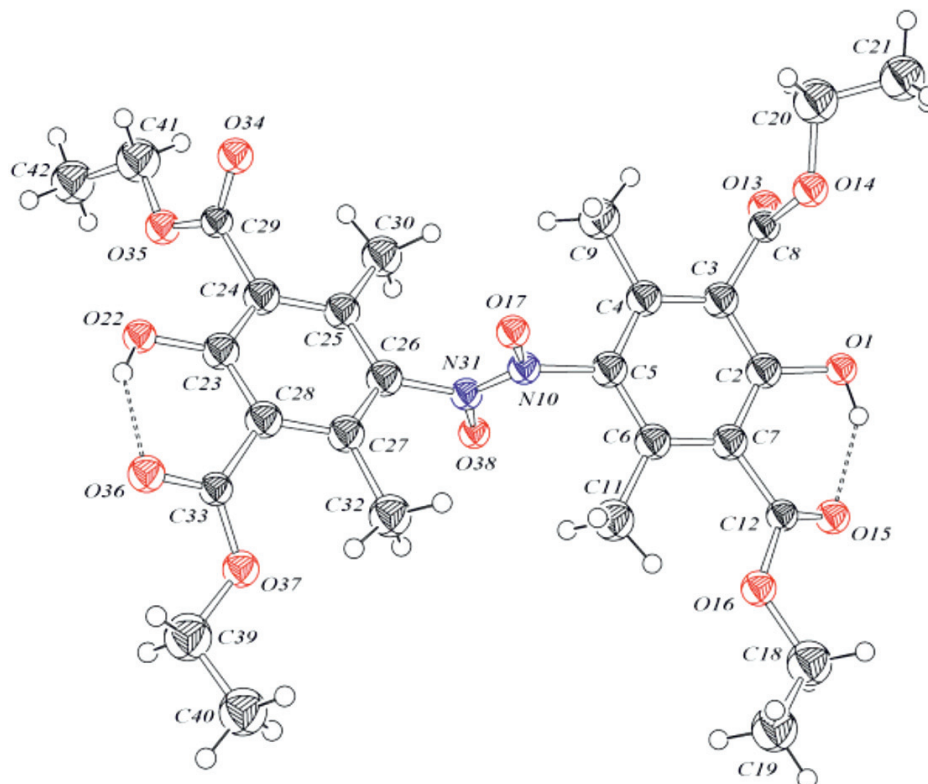


Рис. 1. Молекула 2,6-диэтоксикарбонил-3,5-диметил-4-нитрозофенола. Пунктирной линией показаны направления внутримолекулярных водородных связей

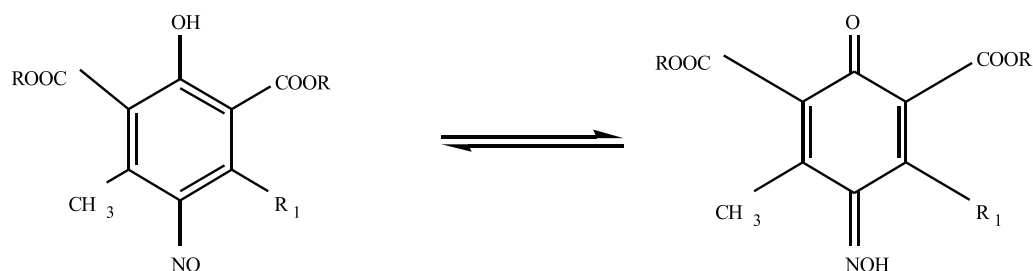
Ранее были изучены кислотные свойства перзамещенных нитрозофенолов. В работе [4] впервые определили pK_a 6,35 для незамещенного 4-нитрозофенола, а позднее были найдены значения pK_a для перзамещенных нитрозофенолов, отличающихся строением алкильных групп сложноэфирных заместителей. В работе [3] для *пара*-нитрозофенолов с $R_1 = CH_3$ приведены R (pK_a) (табл. 1).

Таблица 1
Величины pK_a диметилзамещенных нитрозофенолов

pK_a	R
$5,33 \pm 0,01$	CH_3-
$5,35 \pm 0,04$	CH_3CH_2-
$5,35 \pm 0,03$	$(CH_3)_2CH-$
$5,38 \pm 0,04$	$CH_3CH_2CH_2CH_2-$
$5,58 \pm 0,03$	$(CH_3)_2CHCH_2CH_2-$
$5,42 \pm 0,03$	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2-$
$5,64 \pm 0,06$	$(CH_3)_2CHCH_2CH_2CH_2-$

Судя по приведенным экспериментальным данным, величина констант кислотности перзамещенных *пара*-нитрозофенолов почти не зависела от алкильных заместителей сложноэфирных групп. Количественной зависимости величины pK_a от природы алкильного заместителя сложноэфирной группы авторам [3] выявить не удалось, хотя имела тенденция к некоторому увеличению pK_a с ростом алкильного заместителя сложноэфирной группы.

Недавно нами синтезированы полностью замещенные нитрозофенолы с пиридиновыми заместителями в ароматическом ядре [2], свойства которых пока малоизучены, где $R_1 = \alpha$ -пиридил, β -пиридил либо γ -пиридил. Удалось лишь установить, что перзамещенные нитрозофенолы димеризованы в твердом состоянии, как и другие нитрозосоединения [8], в органических растворителях существует равновесие между димерной и мономерной формами. Кроме того, в мономерной форме наблюдаются 2 таутомера: нитрозофенольный и *пара*-бензохинонмонооксимный.



В то же время никаких данных о константах кислотности перзамещенных нитрозофенолов с пиридиновым остатком до сих пор не имеется, хотя кислотность относится к фундаментальным свойствам органических соединений.

Цель исследования

Определение константы кислотности полностью замещенных нитрозофенолов, содержащих пиридиновый заместитель. Установление зависимости кислотных свойств от строения пиридинового остатка.

Материалы и методы исследования

Определение pK_a проводили спектрофотометрическим методом [1] при температуре $25 \pm 0,1^\circ\text{C}$, в цитратных буферных растворах [5]. УФ-спектры записывали на спектрофотометре HELIOS OMEGA в 0,1 н водной соляной кислоте либо в 0,1 н водном растворе едкого калия. Взвешивание образцов производилось на весах Sartorius CP2P (Германия).

Результаты исследования и их обсуждение

Спектрофотометрический метод оказался удобным для определения pK_a нитрозофенолов, т.к. спектры этих соединений и их анионов существенно отличаются и не накладываются друг на друга (рис. 2): если недиссоциированная форма нитрозофенолов поглощает в области 315 нм, то максимум поглощения нитрозофенолят-ионов смещается в область 400 нм. В качестве аналитической длины волны для определения pK_a была выбрана $\lambda_{\text{max}} = 400$ нм.

В ходе эксперимента получали значения ионизационного отношения I , представляющие собой отношения концентрации нитрозофенолят-иона к концентрации недиссоциированной формы в зависимости от величин pH растворов. После этого рассчитывали значения логарифмов ионизационного отношения при каждом значении pH буферных растворов, не менее 7–8, так, чтобы они перекрывали область, в которой нитрозофенолы ионизированы наполовину.

На графике для двух пиридилзамещенных нитрозофенолов приведены зависимости логарифмов I от pH (рис. 3). Видно, что зависимости оказались практически линейными, с тангенсом угла наклона прямой, близким к единице. Следовательно, мы наблюдаем именно процесс ионизации молекул, т.к. этот процесс описывается уравнением

$$\lg I = \text{pH} - pK_a.$$

По результатам измерений рассчитали средние значения констант кислотности. Расчеты проводили следующим образом: полученные экспериментальные значения pK_a потенцировали, получая значения констант кислотности, затем находили средние значения K_a , взяв отрицательный логарифм которых получали средние значения pK_a . Эти значения приведены с вычисленными ошибками [1] в табл. 2.

Анализ значений pK_a подтверждает вывод авторов [3] о том, что замена метильного радикала сложноэфирной группы на этильный ведет к небольшому уменьшению кислотности нитрозофенолов.

Таблица 2

Величины pK_a пиридилзамещенных нитрозофенолов

pK_a	R	R_1
$4,10 \pm 0,03$	CH_3-	γ -пиридил
$4,24 \pm 0,03$	CH_2CH_3-	γ -пиридил
$4,42 \pm 0,05$	CH_3-	β -пиридил
$4,62 \pm 0,04$	CH_2CH_3-	β -пиридил
$4,35 \pm 0,04$	CH_3-	α -пиридил
$4,45 \pm 0,04$	CH_2CH_3-	α -пиридил

Важно, что при сравнении полученных нами значений с pK_a перзамещенных нитрозофенолов [3], табл. 1, обнаруживается существенное повышение констант кислотности для нитрозофенолов с пиридиновыми заместителями, даже более чем на порядок. Это, вероятно, объясняется электроноакцепторными свойствами пиридинового ядра.

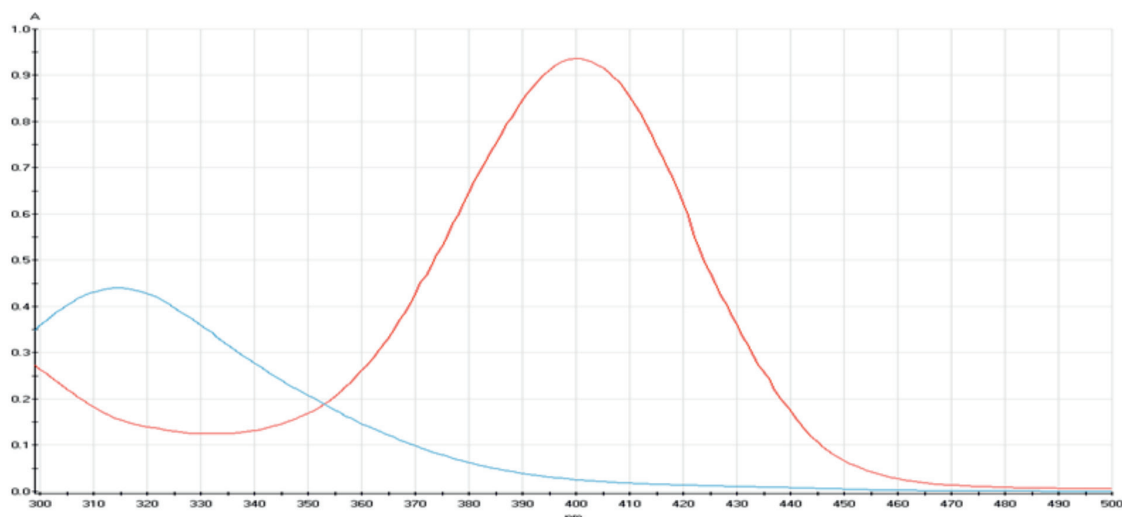


Рис. 2. Спектры 2,6-ди(метоксикарбонил)-3-метил-5-пиридин-4-ил-4-нитрозофенола в 0,1н HCl (1) и 0,1н KOH (2). D – оптическая плотность растворов

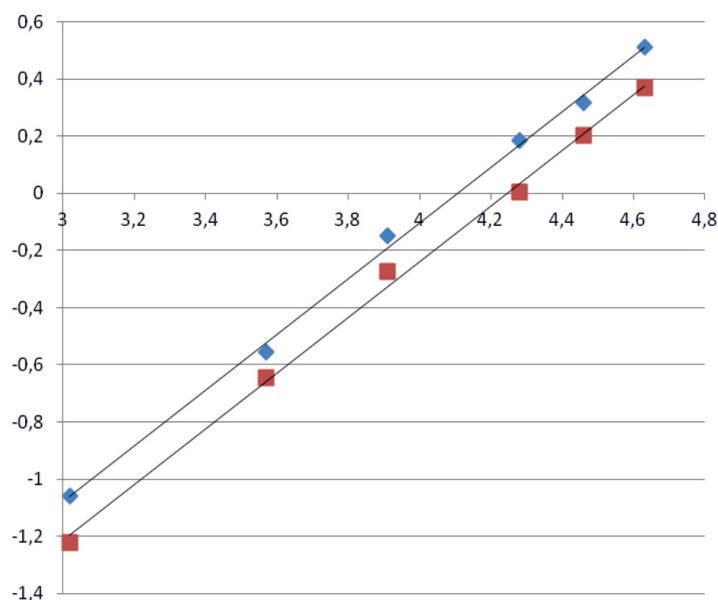


Рис. 3. Зависимость $\lg I$ от pH буферного раствора для 2,6-ди(метоксикарбонил)-3-метил-5-пиридин-4-ил-4-нитрозофенола (1) и ди(этоксикарбонил)-3-метил-5-пиридин-4-ил-4-нитрозофенола (2)

Если связывать наблюдаемое увеличение кислотности исключительно с электроотрицательностью атома азота пиридинового цикла, то наибольшая кислотность должна быть у нитрозофенолов с α -пиридиновым заместителем, затем с β -пиридиновым и наименьшую кислотность должны показывать нитрозофенолы с γ -пиридиновым остатком, т.к. индуктивный эффект затухает при увеличении числа связей.

Однако, как видно из данных табл. 2, кислотность снижается в ряду: *пара*-ни-

трозофенолов с γ -пиридиновыми заместителями > *пара*-нитрозофенолов с α -пиридиновыми заместителями > *пара*-нитрозофенолов с β -пиридиновыми заместителями. Такой характер влияния пиридиновых заместителей можно объяснить копланарным расположением бензольного и пиридинового колец в изучаемых соединениях. При этом атом азота пиридинового цикла способен влиять на реакционный центр, т.е. на фенольный гидроксил, за счет отрицательного мезомерного эффекта,

передающегося по сопряженным π -связям ароматических циклов, лежащих в одной плоскости.

Данное предположение косвенно подтверждается и тем, что максимум поглощения *para*-нитрозофенолят-ионов с пиридиновыми заместителями в электронных спектрах сдвинут примерно на 10 нм в длинноволновую область по сравнению с анионами нитрозофенолов без пиридиновых заместителей (400 нм и 390 нм соответственно). Такой батохромный сдвиг может быть объяснен сопряжением бензольного и пиридинового циклов при условии их копланарного расположения. Следовательно, и увеличение кислотности перзамещенных нитрозофенолов в ряду β -пиридиновый, α -пиридиновый и γ -пиридиновый заместитель, и изменение в электронных спектрах нитрозофенолов согласованно подтверждает плоскостное расположение системы пиридинового и фенольного колец.

Экспериментальная часть. Определение pK_a для перзамещенных *para*-нитрозофенолов проводили спектрофотометрическим методом при температуре $25 \pm 0,1^\circ\text{C}$, в цитратных буферных растворах. Оптическую плотность растворов нитрозофенолов определяли на спектрофотометре HELIOS OMEGA в кварцевых кюветах 1 см в интервале длин волн от 320 до 510 нм.

Для этого изначально готовили спиртовой раствор веществ в мерной колбе объемом $V = 25$ мл. Брали навеску расчетной массы, помещали в колбу № 1 ($V = 25$ мл), доводили до метки этиловым спиртом. Затем аликвоту в объеме $V = 1$ мл полученного спиртового раствора переносили в колбу № 2 ($V = 50$ мл) и доводили до метки 0,1 н раствором NaOH. Аналогично аликвоту 1 мл спиртового раствора гексазамещенных нитрозофенолов переносили в колбу № 3 ($V = 50$ мл) и доводили до метки 0,1 Н раствором HCl.

Измеряли оптическую плотность полученных растворов на спектрофотометре и строили график зависимости оптической плотности (D) от длины волны (λ). Определяли аналитическую длину волны для каждого нитрозофенола. Затем готовили буферные растворы с различным значением pH.

При определении pK_a гексазамещенных *para*-нитрозофенолов использовали цитратные буферные растворы. Для этого готовили 7 буферных растворов по 250 мл с различным значением pH. После проверки правильности показаний pH-метра определяли pH всех приготовленных буферных растворов. Затем в каждый из буферных растворов добавляется по 1 мл пригото-

ленного спиртового раствора полностью замещенного *para*-нитрозофенола.

Для этого снова брали навеску вещества и доводили до метки этиловым спиртом в 25 мл колбе. Брали аликвоту по 1 мл и переносили в 7 колб по 50 мл и доводили до метки каждую разными буферными растворами, а в 2 колбы по 50 мл переносили аликвоты, но доводили их до метки 0,1 н раствором кислоты и 0,1 н раствором щелочи. При длине волны, на которой наблюдалась максимальная оптическая плотность перзамещенного нитрозофенола в 0,1 н растворе NaOH ($\lambda = 400$ нм), определяли значение оптической плотности полученных растворов.

Выводы

1. Впервые получены значения констант кислотности шести перзамещенных *para*-нитрозофенолов, содержащих пиридиновые заместители в бензольном кольце.

2. Установлено, что введение пиридиновых заместителей в молекулу нитрозофенола вызывает увеличение кислотности более чем на порядок.

3. Наблюдаемое увеличение кислотности может быть объяснено копланарным расположением бензольного и пиридинового циклов, при котором акцепторное действие атома азота передается по сопряженной системе π -связей. Это подтверждается и батохромным сдвигом максимума поглощения нитрозофенолят-ионов с пиридиновыми заместителями.

Список литературы

1. Альберт А., Сергент Е. Константы ионизации кислот и оснований. – М.: Химия, 1964. – 180 с.
2. Кукушкин А.А., Кулумаева Е.В., Кондрасенко А.А., Роот Е.В., Субоч Г.А., Товбис М.С. Получение новых перзамещенных нитрозофенолов с пиридиновым заместителем // ЖОрХ. – 2016. – Т. 52, № 8. – С. 1219–1221.
3. Кукушкин А.А., Слащинин Д.Г., Товбис М.С. / Кислотность новых перзамещенных *p*-нитрозофенолов // ЖОрХ. – 2011. – Т. 47, № 9. – С. 1406.
4. Показатели констант кислотности веществ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://chemister.ru/Database/Tables/pKa.php?pageNum=4> (дата обращения: 28.04.17).
5. Швабе К. Основы техники измерения pH. – М.: Издательство, 1962. – 472 с.
6. Beaudoin D., Wuest J.D. Dimerization of Aromatic C-Nitroso Compounds // Chem. Rev. – 2016. – № 116(1). – P. 258–286.
7. Eiden F. 5-Aminoacetamido-4,6-dimethyl-2-hydroxyisophthalic acid diethyl ester: synthesis investigation of antiarrhythmic properties [Text] / H.P. Leister, D. Mayer // Arzneimittel-Forschung. – 1983. – № 33. – P. 101–105.
8. Nanjing Chemlin Chemical Industry Co., Ltd. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.chembuyersguide.com/partners/chemlin2-115.html (дата обращения: 10.03.17).
9. Özhan S., Piriñçioğlu N. Theoretical study of the effects of polar substitution on the activation barriers for internal rotation around the C-N bond in *p*-substituted nitrosobenzenes: Comparison of DFT and MP2 calculations // Turk. J. Chem. – 2010. – № 34. – P. 399–410.
10. Slaschinin D.G., Alemasov Yu.A., Tovbis M.S., Kirik S.D. X-Ray diffraction and spectroscopic verification of dimerization in hexasubstituted *para*-nitrosophenols // Journal of Molecular Structure. – 2011. – Vol. 985. – P. 184–190.

УДК 544.77.051

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ОДНОРОДНЫХ ПО ХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ И РАЗМЕРАМ НАНОЧАСТИЦ МАГНЕТИТА ДЛЯ БИМЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЕЙ

¹Марнаутов Н.А., ¹Комиссарова Л.Х., ¹Татиколов А.С., ²Ларкина Е.А.,
³Елфимов А.Б., ³Васильков О.О.

¹Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук,
Москва, e-mail: norron@mail.ru;

²Институт тонких химических технологий, Московский технологический университет, Москва;

³Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Москва

В работе представлены результаты по разработке оптимального способа получения однородных по химическому составу и размерам наночастиц магнетита в атмосфере инертного газа на основе метода химического соосаждения. Исследованы структура и химический состав полученных наночастиц методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), электронной дифракции с селекторной диафрагмой (SAED) и рентгенофазового анализа. Впервые обнаружено, что при проведении синтеза в инертной атмосфере и температуре 70 °С при значениях pH исходной смеси в диапазоне 6,5–2,0 наблюдается наличие примеси наностержней (гоэтит). Показано, что при проведении синтеза в атмосфере азота при pH 1,8–1,9 и температуре 70 °С полученные наночастицы являются магнетитом и не содержат примеси наностержней. Средний диаметр полученных наночастиц составил 12 ± 4 нм. Обсуждается механизм образования наностержней.

Ключевые слова: наночастицы магнетита, метод соосаждения, атмосфера инертного газа, химический состав, наностержни, гоэтит, гидролиз Fe(III)

WORKING OUT THE OPTIMAL METHOD TO OBTAIN CHEMICAL-AND-SIZE HOMOGENOUS MAGNETITE NANOPARTICLES FOR BIOMEDICAL PURPOSES

¹Marnautov N.A., ¹Komissarova L.Kh., ¹Tatikolov A.S., ²Larkina E.A.,
³Elfimov A.B., ³Vasilkov O.O.

¹N.M. Emanuel Institute of Biochemical Physics, Russian Academy of Sciences,
Moscow, e-mail: norron@mail.ru;

²Institute of Fine Chemical Technologies, Moscow Technological University, Moscow;

³Russian Chemico-Technological University of D.I. Mendeleev, Moscow

The work presents the results of working out the optimal method to obtain chemical content-and-size homogenous magnetite nanoparticles in the inert gas atmosphere on the basis of co-precipitation method. The structure and chemical content of obtained particles were studied by transmission electron microscopy (TEM), selected area electron diffraction (SAED) and X-ray diffraction (XRD). It was discovered for the first time that while synthesizing in inert gas atmosphere at pH of initial mixture in the range of 6,5–2,0 and 70 °C there are availability of admixture of nanorods (goetite). It has been shown that while synthesizing in the nitrogen atmosphere at pH of initial mixture 1,8–1,9 and 70 °C obtained nanoparticles are the magnetite itself without admixture of nanorods. The average diameter of the obtained nanoparticles is 12 ± 4 nm. The mechanism of nanorods formation is discussed.

Keywords: magnetite nanoparticles, chemical precipitation method, inert gas atmosphere, chemical composition, nanorods, goetite, hydrolysis of Fe(III)

С каждым годом магнитные наночастицы находят все более широкое применение в биомедицине, они применяются для гипертермии опухолей и адресной доставки лекарственных средств, на их основе создают МРТ-контрастирующие агенты и высокоточные биосенсоры [1, 2]. Наибольшее распространение среди магнитных наночастиц в области биомедицины находят наночастицы магнетита. Наноразмерный магнетит может быть получен различными способами, такими как гидротермальный синтез, высокотемпературное разложение органических солей железа, а также методом соосаждения [3, 4]. Метод соосаждения является наиболее доступным способом получения на-

ночастиц магнетита, т.к. в отличие от других методов он не требует высоких температур, экологически безопасен и сравнительно прост в реализации. Тем не менее, несмотря на его распространенность и простоту реализации, не существует единой методики его проведения: варьируют физико-химические условия синтеза, что отражается на характеристиках получаемых наночастиц. Обычно наибольшая неоднозначность в методике получения наноразмерного магнетита по методу соосаждения двух- и трехвалентных солей железа из водного раствора аммиака заключается в вопросе использования инертной атмосферы. Ряд авторов проводят реакцию в присутствии кислорода воздуха [4, 5],

в то время как, по мнению других авторов [6, 7], необходимо использовать инертную атмосферу. Присутствие кислорода воздуха создает опасность окисления двухвалентного железа до трехвалентного, в результате чего вместо магнетита (Fe_3O_4), обладающего сильными ферромагнитными свойствами, может образоваться маггемит ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), магнитные свойства которого выражены значительно слабее, или $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, который ими вообще не обладает. Наш собственный опыт показывает, что желательнее проводить реакцию в инертной атмосфере, это позволяет получать наиболее воспроизводимые результаты. Однако, даже используя инертную атмосферу, можно наблюдать довольно необычные результаты при получении наноразмерного магнетита.

Цель исследования

Разработка оптимального способа получения однородных по химическому составу и размерам наночастиц магнетита в инертной атмосфере на основе метода соосаждения путем подбора физико-химических условий синтеза наночастиц для их использования в биологии и медицине.

Материалы и методы исследования

В работе использовались хлорид железа (III) $\times 6\text{H}_2\text{O}$, сульфат железа (II) $\times 7\text{H}_2\text{O}$ марок «хч» (99%, «Acros»), аммиак водный (98,5%, «Компонент Реактив»). Во всех экспериментах использовалась дистиллированная вода, если не указано иное. Для магнитной сепарации использовали постоянный цилиндрический неодимовый магнит D 60x30 мм (Россия) с индукцией на поверхности 3 мТл. Для характеристики размеров, структуры и химического состава наночастиц использовали ряд методов, в том числе просвечивающую электронную микроскопию (LEO-912AB, Zeiss, Германия), рентгенофазовый анализ (дифрактометр DRON-3M). Для расшифровки полученных спектров рентгенофазового анализа использовали электронную базу данных ICDD. Электронно-микроскопическое исследование полученных наночастиц на просвечивающем электронном микроскопе было сделано при ускоряющем напряжении 120 кВ. Для этого 6 мкл суспензии наносили на медную сетку с формваровой подложкой и сушили при комнатной температуре.

Методика получения наночастиц магнетита

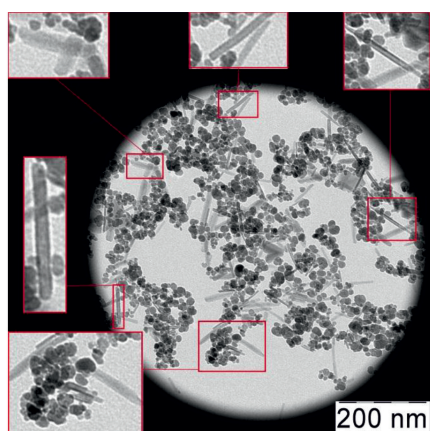
Реакция проводится в атмосфере азота в трехгорлой колбе на магнитной мешалке

с использованием масляной бани. Навески сульфата железа (II) и хлорида железа (III) в мольном соотношении 2:1 растворяют в дистиллированной воде. В опытах № 1–3 дистиллированная вода предварительно кипятилась в атмосфере инертного газа. В опытах № 4–6 прокипяченная дистиллированная вода дополнительно подкислялась до pH 2,1–2,2 раствором соляной кислоты. В опытах № 7–10 прокипяченная дистиллированная вода подкислялась раствором соляной кислоты до pH 1,8–1,9. В результате образуется водный раствор, содержащий смесь хлоридов железа (II) и (III) с концентрацией 2_{мас.}%. Полученный раствор нагревают до 70 °С при постоянном перемешивании в токе азота. После чего приливают аммиачный раствор (4 объем.%) со скоростью 240 мл/мин. Затем реакционная смесь выдерживается при постоянном перемешивании в токе азота при температуре 70 °С в течение 30 минут. Полученные наночастицы осаждают путем магнитной сепарации на постоянном неодимовом магните, с индукцией на поверхности 3 мТл, супернантант отбрасывают, осадок промывают дистиллированной водой, процедуру повторяют многократно, до достижения значения pH 7,0 в промывных водах. После отмывки наночастицы осаждают на магните и ресуспендируют в дистиллированной воде, предварительно прокипяченной в атмосфере инертного газа. Образовавшуюся суспензию переносят в емкость, предварительно продув азотом, и хранят в герметичной емкости при температуре 2–4 °С. Для определения концентрации полученной суспензии из суспензии после тщательного перемешивания отбирают пять аликвот по 1 мл, которые сушат до постоянного веса в сушильном шкафу при температуре 120 °С.

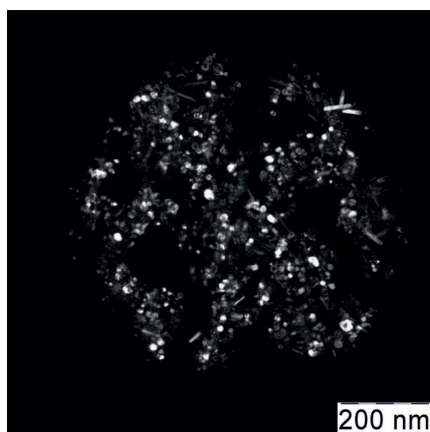
Результаты исследования и их обсуждение

При проведении первой серии опытов (опыты № 1–3) были получены наночастицы магнетита с примесью наностержней. На рис. 1, а представлена микрофотография частиц, полученных в опыте № 1, на данной микрофотографии отчетливо видны наностержни длиной от 20 до 400 нм и толщиной порядка 2 нм. Наностержни являются побочным продуктом реакции и их наличие нежелательно. Рис. 1, б представляет собой микрофотографию тех же частиц в темном поле. На микрофотографии частиц в темном поле наиболее отчетливо видны вещества, обладающие кристаллической решеткой, в то время как аморфные вещества будут слабо различ-

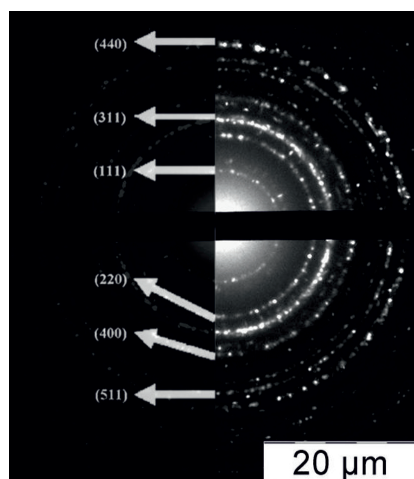
мы, поэтому можно заключить, что данные стержни имеют кристаллическую решетку и, скорее всего, являются монокристаллами.



а)



б)



в)

Рис. 1. Электронные микрофотографии наночастиц, синтезированных в первой серии опытов: а) в светлом поле; б) в темном поле; в) электронная дифракция (SAED)

Согласно спектру SAED (рис. 1, В), можно утверждать, что данные наностержни имеют состав отличный от магнетита, т.к. на спектре, помимо колец характерных для магнетита наблюдаются кольца ему не соответствующие. Не характерные для магнетита кольца очень слабо выражены, что указывает на то, что наностержни являются примесью. Из-за слабой выраженности нехарактерных колец, а также из-за их наложения на кольца магнетита охарактеризовать их и однозначно определить химический состав наностержней довольно затруднительно. Основываясь на литературных данных, можно предположить, что по химическому составу наностержни представляют собой гоэтит (α -FeOOH). Так, в работе Rosalia Marino-Fernandez и коллег был синтезирован гоэтит по методу аналогичному методу соосаждения [8]. Из анализа электронных микрофотографий, приведенных в этой работе, видно, что наноразмерный гоэтит представляет собой наностержни, похожие на те, что были получены нами. Наиболее вероятной причиной образования наностержней является гидролиз трехвалентного железа с образованием нерастворимых соединений, предшествующий гидролизу двухвалентного железа. Осаждение нерастворимых гидроокисей трехвалентного железа наблюдается уже при pH 2,2, тогда как для образования нерастворимых гидроокисей двухвалентного железа требуется pH не меньше 7,0, а для их полного осаждения требуется pH 9,0–14,0 [9–11]. Таким образом, возможна ситуация, когда гидролиз трехвалентного железа с образованием нерастворимых соединений уже начался, а гидролиз двухвалентного железа еще не происходит. В этом случае образование магнетита становится невозможным, так как для его получения требуется одновременное соосаждение как Fe^{2+} , так и Fe^{3+} . В результате преждевременного гидролиза Fe^{3+} образуется гидроксид железа, который затем переходит в ферригидриты переменного состава: $5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ или $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ($x = 1 \div 5$). В результате старения полученные ферригидриты переходят в оксигидроксид трехвалентного железа (III) $\text{FeO}(\text{OH})$. Избежать преждевременного осаждения трехвалентного железа можно путем подкисления исходного раствора до pH, при котором не будет наблюдаться гидролиз Fe^{3+} . Затем к подкисленному раствору необходимо быстрое прибавление раствора аммиака до достижения значений

pH 9,0–14,0, при которых будет протекать одновременный гидролиз Fe^{3+} и Fe^{2+} с образованием магнетита. Для того, чтобы предотвратить преждевременное осаждение Fe^{3+} , во второй серии опытов (опыты № 6–8), раствор солей железа предварительно подкислялся до pH 2,0–2,3. В остальном опыт был аналогичен опыту № 1. При подкислении количество и размер

образовавшихся наностержней значительно уменьшились. Тем не менее, все равно можно было наблюдать их незначительное присутствие, что видно на рис. 2, а.

Спектры SAED, полученные во второй серии опытов, имели схожий вид со спектром SAED, полученным в опыте № 1, и на них также присутствовали кольца не характерные для магнетита.

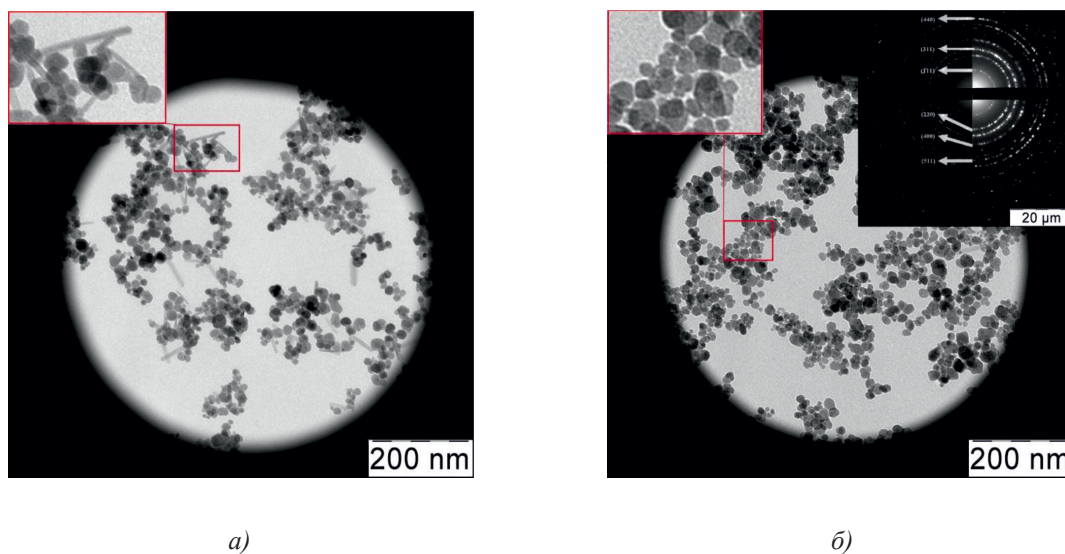


Рис. 2. Электронные микрофотографии наночастиц: а) синтезированных во второй серии опытов; б) синтезированных в третьей серии опытов

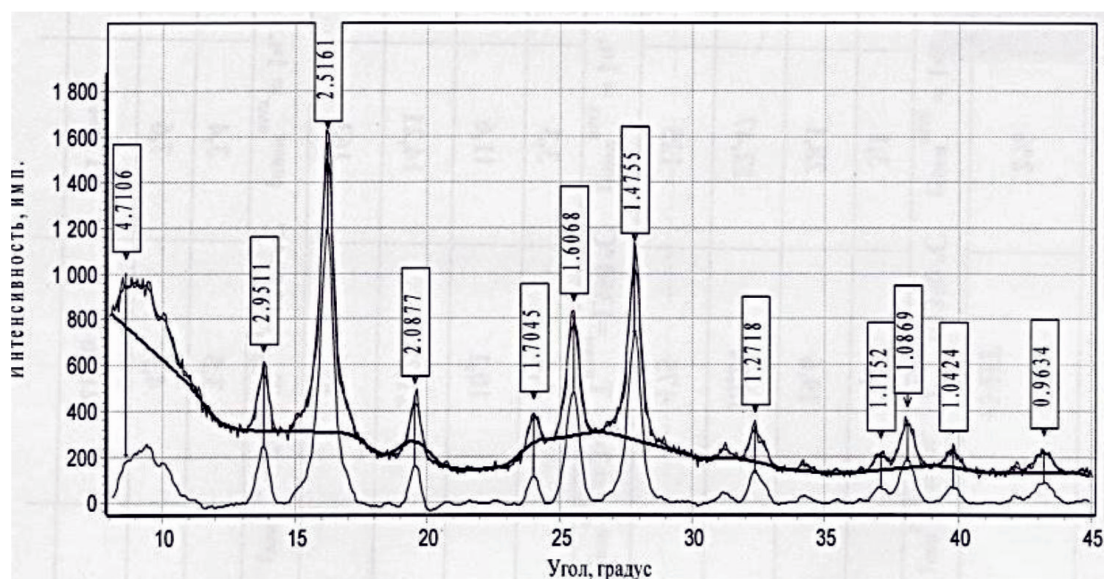


Рис. 3. Рентгенограмма образца, синтезированного в третьей серии опытов

Для того, чтобы полностью предотвратить образование наностержней, была проведена третья серия опытов, в них исходный раствор солей железа был подкислен еще сильнее до pH 1,8–1,9, в остальном способ проведения реакции остался неизменным. Благодаря подкислению исходной реакционной смеси удалось полностью избавиться от нежелательной примеси. На рис. 2, а представлена микрофотография наночастиц, синтезированных из маточного раствора, подкисленного до pH 1,8–1,9. На данной микрофотографии отчетливо видно, что в ходе реакции образовались только наночастицы магнетита. Химический состав полученных наночастиц соответствует магнетиту (Fe_3O_4) и подтвержден с помощью рентгенофазового анализа (рис. 3) и электронной дифракции (рис. 2, б). Отсутствие примесей в конечном продукте, подтверждается как химическим составом конечного продукта, так и отсутствием наностержней.

Основываясь на анализе данных, полученных с помощью электронной микрофотографии (рис. 2, а), электронной дифракции (SAED) и данных рентгенограммы наночастиц (рис. 3), можно утверждать, что наночастицы, полученные в третьей серии опытов, являются наночастицами магнетита со средним диаметром частиц 12 ± 4 нм.

Заключение

Таким образом, на основе анализа и подбора физико-химических условий синтеза наночастиц магнетита методом соосаждения разработан оптимальный способ получения однородных по химическому составу и размерам наночастиц магнетита в атмосфере инертного газа (азот) при температуре 70°C . Методами просвечивающей электронной микроскопии, электронной дифракции с селективной диафрагмой SAED и рентгенофазового анализа показано, что при проведении синтеза в атмосфере азота при pH 1,8–1,9 и температуре 70°C полученные наночастицы являются магне-

титом со средним диаметром частиц 12 ± 4 нм без примесей других соединений железа (гоэтит). Полученные наночастицы магнетита могут быть использованы для биомедицинских целей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке фонда РФФИ, проект № 16-03-00735.

Список литературы

1. Pankhurst Q.A., Thanh N.T.K. et al. Progress in applications of magnetic nanoparticles in biomedicine // *Journal of Physics D: Applied Physics*. – 2009. – Т. 42, № 22. – С. 224001.
2. Брусенцов Н.А., Байбуртский Ф.С., Комиссарова Л.Х., Филиппов В.И. и др. Технологии получения и применения полифункциональных магнитоуправляемых супермагнитных препаратов (обзор) // *Химико-фармацевтический журнал*. – 2002. – Т. 36, № 4. – С. 32–40.
3. Lu A.H., Salabas E.L., Schüth F. Magnetic nanoparticles: synthesis, protection, functionalization, and application // *Angewandte Chemie International Edition*. – 2007. – Т. 46, № 8. – С. 1222–1244.
4. RuizMoreno R.G., Martinezet A.I. et al. Synthesis and Characterization of Citrate Coated Magnetite Nanoparticles. // *J.of Superconductivity and Novel Magnetism*. – 2013. – V. 26, № 3. – P. 709–712.
5. Петракова А.В., Урусов А.Е., Костенко С.Н., Придворова С.М., Васильев М.А., Жердев А.В. Синтез магнитных наночастиц оксида железа для применения в иммуноанализе // *Современные проблемы науки и образования*. – 2013. – № 5; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10559> (дата обращения: 27.04.2017).
6. Sun J., Zhou S., Hou P. et al. Synthesis and characterization of biocompatible Fe_3O_4 nanoparticles // *Journal of biomedical materials research Part A*. – 2007. – Т. 80, № 2. – С. 333–341.
7. Комиссарова Л.Х., Татикилов А.С., Марнауты Н.А. и др. Оптимизация метода массарта для получения биосовместимых наночастиц магнетита с заданными размерами // *Актуальные вопросы биологической физики и химии*. – 2016. – № 1–2. – С. 44–47.
8. Marino-Fernandez R., Masunaga S. H., et al. Goethite ($\alpha\text{-FeOOH}$) nanorods as suitable antiferromagnetic substrates // *The Journal of Physical Chemistry C*. – 2011. – Т. 115, № 29. – С. 13991–13999.
9. Нгуен А.Т. Механизм формирования наночастиц LaFeO_3 , полученных золь–гель методом // *Всероссийский журнал научных публикаций*. – 2011. – № 6. – С. 80–82.
10. Dousma J., Den Ottelander D., De Bruyn P. L. The influence of sulfate ions on the formation of iron (III) oxides // *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry*. – 1979. – Т. 41, № 11. – С. 1565–1568.
11. Назаренко В.А. Гидролиз ионов металлов в разбавленных растворах / В.А. Назаренко, В.Н. Антонович, Е.М. Невская. – М.: Атомиздат, 1979. – С. 139–149.

УДК 544.122.4

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРУПП НА ГАЗОБАРЬЕРНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

^{1,2}Нагорная М.Н., ^{2,3}Раздьяконова Г.И., ¹Ходакова С.Я., ²Румянцев П.А.¹ФГУП «ФНПЦ «Прогресс», Омск, e-mail: Nagornaya_mail@mail.ru;²ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет», Омск;³ФГБУН Институт проблем переработки углеводородов Сибирского отделения
Российской академии наук, Омск

Цель данного исследования – установить влияние протоногенных кислородсодержащих групп технического углерода на наноструктуру углеродного слоя и экспериментально проверить влияние наноструктуры технического углерода на скорость проникновения газа через резину на основе бутилкаучука. В работе использовали два образца печного технического углерода (ТУ) N326 и N121, отличающихся пористой структурой: исходные и окисленные активными формами кислорода. Всесторонне оценили физико-механические характеристики наполненных резин на основе бутилкаучука. Отмечено, что введение окисленных марок ТУ N326 и N121 в состав резиновых смесей позволяет улучшить диспергирование наполнителя и снизить газопроницаемость резин. Установлена зависимость скорости проникновения азота через резину от энергии конформации E_{sc} углеродного слоя наполнителя, что подтвердили математическое моделирование и экспериментальная проверка. Показано, что по значению E_{sc} можно прогнозировать газобарьерные свойства резин: чем будет выше E_{sc} , тем ожидается меньшая скорость проникновения газа через резину.

Ключевые слова: технический углерод, функциональные группы, наноструктура, энергия конформации, бутилкаучук, резиновые смеси, резины, скорость проникновения азота

PHYSICOCHEMICAL REGULARITIES OF THE FUNCTIONAL GROUPS INFLUENCE ON GAS BARRIER PROPERTIES OF ELASTOMERIC COMPOSITIONS

^{1,2}Nagornaya M.N., ^{2,3}Razdyakonova G.I., ¹Khodakova S.Ya., ²Rumyantsev P.A.¹Federal research – productive centre «Progress», Omsk, e-mail: Nagornaya_mail@mail.ru;²Omsk State Technical University, Omsk;³Institute of the carbon processing problems SD RAS, Omsk

The purpose of this research was to determine the influence of carbon black protogenic oxygen-containing groups on the carbon nanostructure layer and to test experimentally the influence of carbon black nanostructure on the rate of gas penetrability the rubber based on butyl rubber. In the work there were used two samples of furnace carbon black (CB) N326 and N121 differed by their porous structure: the original and oxidized active forms of oxygen. It was evaluated thoroughly the physics-mathematical characteristics of filled rubbers based on butyl rubber. It was noted that the introduction of oxidized grades CB N326 and N121 into the composition of the rubber mixtures can improve the dispersion of the filler and to reduce gas penetrability through rubbers. It was stated the dependence of the rate of nitrogen penetrability through the rubber from conformation E_{sc} energy of filler carbon layer, that was confirmed by mathematical modeling and experimental testing. It is shown that according the value E_{sc} it is possible to predict the gas-proof properties of rubber: the more is the value E_{sc} , the less is the rate of gas penetrability through the rubber.

Keywords: carbon black, functional groups, nanostructure, energy conformation, butyl rubber, a comprehensive rubber compound, rate of nitrogen, penetrability through the rubber

Технический углерод широко применяют в производстве резин, красок и т.д. Он представляет собой гроздевидное образование псевдоглобулярных частиц, сращенных общими углеродными слоями протяженностью от 0,4 до 5 нм [1]. По данным высокоразрешающей электронной микроскопии (ПЭМ ВР) выявлено, что поверхностные углеродные слои технического углерода обладают особенной наноструктурой, а именно кривизной [1, 2], величина которой зависит от температуры синтеза, состава сырья, наличия гетероатомов. Изучение взаимосвязи между наноструктурой частиц

ТУ и его функциональными группами – такими, как карбоксильные (КГ), фенольные (ФГ), лактонные (ЛГ), наличие которых на поверхности углеродных материалов доказано ИК и РФЭС спектроскопией и химическим анализом – новое направление исследований углеродных материалов.

Согласно представлениям стереохимии макромолекул [3], различные геометрические (пространственные) формы, которые молекула может принимать в результате внутримолекулярных движений, проходящих без разрыва химических связей, называются конформациями [4]. Энергия термо-

динамически устойчивой конформации E_{sc} (steric energy) углеродного слоя включает составляющие энергий растяжения, изгиба, кручения и несвязанных взаимодействий (электростатического, дисперсионного притяжения и отталкивания) [5], вследствие этого E_{sc} можно принять за обобщающий параметр для характеристики наноструктуры углеродных слоёв.

Специальные компьютерные программы позволяют наблюдать изменения E_{sc} в молекулярных полисопряженных системах. Авторами [2, 6, 7] были замечены изменения в пространственном расположении полиароматического углеродного слоя при увеличении температуры синтеза ТУ. То же подтвердилось авторами [8] методом молекулярного моделирования конформаций углеродных слоёв с использованием прикладного программного обеспечения Cambridgesoft Chem3D Ultra 14.

Известно, что функциональные группы технического углерода могут взаимодействовать с макромолекулами каучуков, что приводит к образованию более высокого содержания углерод-каучукового геля [9], особенно с бутилкаучуком, который используют для получения резин с газобарьерными свойствами. Такие резины применяются в камерах автомобильных шин, бескамерных шинах, воздушных подушках, герметизирующих камерах, пневматических амортизаторах и т.д. [10], поэтому потребность в усилении газобарьерных свойств является актуальной.

Существует предположение о преимущественной диффузии газов через резину по межфазной границе полимера и наполнителя. Учитывая вышеизложенное, для снижения газопроницаемости резин представляется необходимым создание препятствий прониканию газа, что достигается либо увеличением межфазной поверхности и, таким образом, увеличением извилистости пути движения молекул газа, либо повышением адгезии полимера к поверхности наполнителя. Для осуществления адгезии необходимо обеспечить сближение субстратов, и поскольку кислородсодержащие группы углеродных слоёв приводят к увеличению их кривизны, то благодаря этому может увеличиться вероятность образования их физических связей с макромолекулами каучука. Однако в литературе сведения о роли функциональных групп углеродных слоёв на их наноструктуру и газобарьерные свойства резин отсутствуют.

В этой связи представляет интерес рассмотреть влияние разных функциональных

кислородсодержащих групп углерода на E_{sc} единичного графенового слоя, что даст возможность прогнозирования газопроницаемости резин.

Цель данного исследования – установить влияние протоногенных кислородсодержащих групп технического углерода на наноструктуру углеродного слоя и экспериментально проверить влияние наноструктуры технического углерода на скорость проникания газа через резину на основе бутилкаучука.

В работе использовали два образца печного технического углерода N326 и N121, отличающихся удельной поверхностью и пористой структурой. Общий удельный объём пор V_o , установленный экспериментально по разности обратных плотностей – кажущейся в каучуке и истинной в гелии [11], – составил у N326 и N121, соответственно 0,06 см³/г и 0,17 см³/г. На их основе приготовили опытные образцы, окисленные активными формами кислорода: пероксидом водорода в атмосфере воздуха, активированного озоном и (или) синглетным кислородом. Полученные образцы имели в функциональном составе разное соотношение КГ, ФГ и ЛГ (табл. 1).

Резиновые смеси (бутилкаучук БК-1675Н – 100 мас.ч., серная вулканизующая система – 3,3 мас.ч., технический углерод – 60 мас.ч.) готовили в лабораторном резиносмесителе Р/С 4,5/20-140 с двухлопастными роторами на основе бутилкаучука марки БК 1675Н (ООО «Тольяттикаучук», г. Тольятти). Вулканизацию резиновых смесей осуществляли в течение 55 мин при температуре 153 °С.

Скорость проникания газа азота чистотой 99,9% через резину измеряли при нормальной температуре манометрическим методом при перепаде давления от атмосферного до 0,1 МПа по стандарту China GB 1038 с помощью прибора VAC-V2 фирмы «Labchink Instruments» (Китай). Скорость проникания азота GTR выражали объёмом газа, прошедшего в течение 24 ч при перепаде давления 0,1 МПа, через единицу поверхности пластины резины заданной толщины. Степень диспергирования (Д, %) наполнителя в резине оценивали с помощью прибора disperGRADER aview 660 AAD 1090 фирмы Alpha Technologies (США). Условное напряжение при 300%-ном удлинении, условную прочность при растяжении (f_p), относительное удлинение при разрыве (ε_p), относительную остаточную деформацию после разрыва резин определяли стандартными методами по ГОСТ 270-75.

Таблица 1

Физико-химические свойства образцов технического углерода

Наименование показателя	N326/N121, исходные	N326/N121, окисл. 2% H ₂ O ₂ и озоном O ₃	N326/N121, окисл. 2% H ₂ O ₂ и ¹ O ₂	N326/N121, окисл. ¹ O ₂	N326/N121, окисл. озоном O ₃	N326/N121, окисл. 30% H ₂ O ₂
1	2	3	4	5	6	7
Удельная площадь поверхности по многоточечной адсорбции азота (NSA), м ² /г	76 / 117	76 / 119	78 / 118	78 / 119	77 / 118	80 / 124
Удельная площадь поверхности по статистической толщине слоя (STSA), м ² /г	73 / 105	71 / 105	76 / 104	75 / 109	73 / 108	81 / 110
Содержание групп, мг-экв/г: КГ ЛГ ФГ	0,003 / 0,002 0,006 / 0,005 0,037 / 0,02	0,012 / 0,006 0,003 / 0,012 0,018 / 0,019	0,013 / 0,006 0,006 / 0,009 0,014 / 0,016	0,006 / 0 0,028 / 0,006 0,014 / 0,008	0,01 / 0,008 0,013 / 0,005 0,001 / 0,014	0,035 / 0,022 0,042 / 0,019 0,02 / 0,03
Относительное содержание групп: КГ ЛГ ФГ	1 / 1 2 / 2 12 / 10	3 / 2 1 / 2 5 / 6	2 / 2 1 / 3 2 / 5	2 / 0 4 / 2 1 / 2	10 / 2 1 / 2 13 / 4	2 / 7 2 / 5 1 / 9
Энергия конформации E _c углеродного слоя C ₁₀₆ с функциональным составом N326/N121, кДж/моль	0,34 / 0,40	0,49 / 0,54	0,41 / 0,49	0,36 / 0,37	0,41 / 0,50	0,50 / 0,83

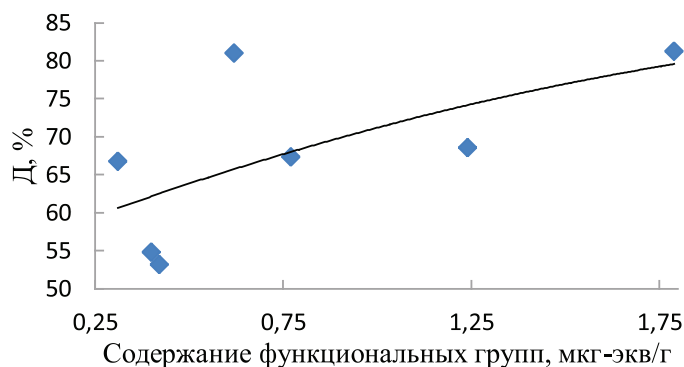


Рис. 1. Зависимость степени диспергирования в резине технического углерода N326 от содержания протоногенных функциональных групп

Удельную поверхность технического углерода определяли по методу ASTM D 6556 с помощью прибора Gemini 2380. Функциональные группы на углеродной поверхности определяли методом их селективной нейтрализации основаниями разной силы: NaHCO₃ (КГ), Na₂CO₃ (КГ + ЛГ) и NaOH (КГ + ЛГ + ФГ) по методике [12].

Известно, что в максимальной степени усиливающий эффект технического углерода может быть достигнут только при качественном диспергировании его в каучуке. По данным на рис. 1 прослеживается тенденция улучшения степени диспергирования (Д, %) наполнителя в бутилкаучуке при введении более окисленного технического углерода N326 и N121 в состав резин (рис. 1).

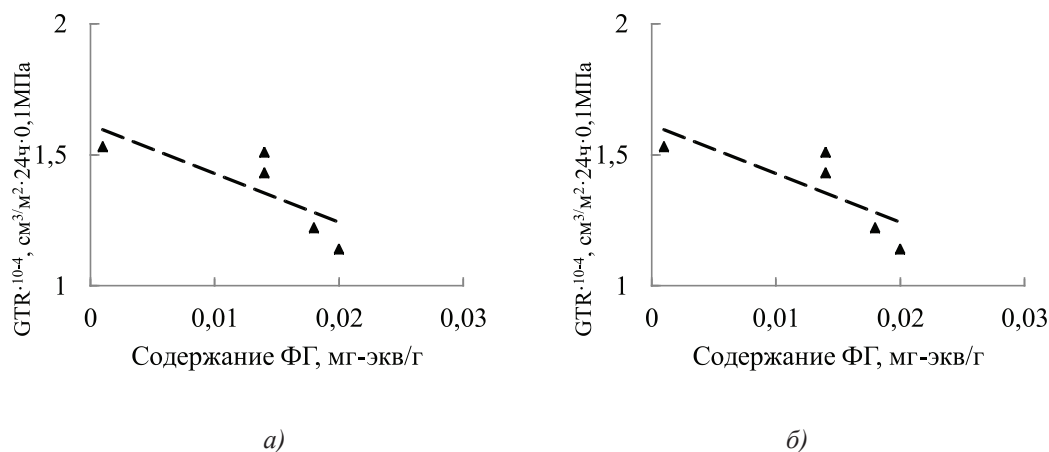


Рис. 2. Зависимость скорости проникновения азота GTR опытных резин, наполненных техническим углеродом N326 с разным содержанием карбоксильных (а) и фенольных (б) групп

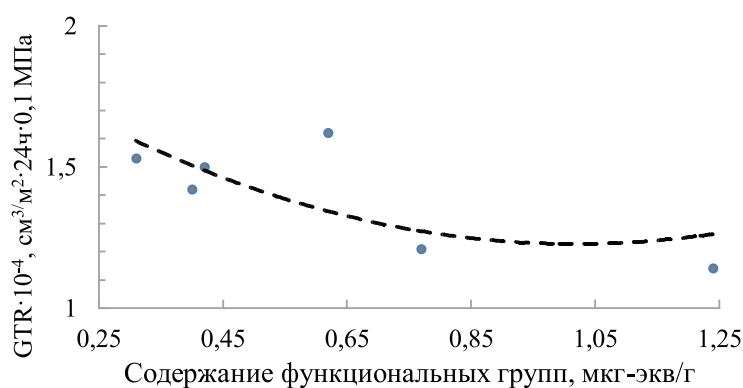


Рис. 3. Зависимость скорости проникновения азота GTR опытных резин, наполненных техническим углеродом N326 с разным суммарным содержанием протоногенных групп

Таблица 2

Физико-механические показатели резин

Показатели	исходные смеси		Значения показателей опытных резин				
	N326	N121	N326 N121				
			№ опытного образца				
1	2	3	1	2	3	4	5
Условное напряжение при 300%-ном удлинении, МПа	9,45	10,45	6,93	6,79	7,18	7,12	5,95
			10,54	9,62	9,65	9,99	8,94
Условная прочность при растяжении (f_p), МПа	15,29	15,52	15,6	14,2	16,2	16,7	17,7
			16,16	15,72	15,89	16,25	16,68
Относительное удлинение при разрыве (ϵ_p), %	420	430	520	480	530	540	590
			450	440	520	470	540
Относительная остаточная деформация после разрыва, %	26	28	36	40	36	40	40
			31	30	30	30	40
Скорость проникновения азота, ($GTR \cdot 10^{-4}$), $\text{cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24 \text{ч} \cdot 0,1 \text{ МПа}$	1,70	6,14	1,21	1,50	1,62	1,53	1,14
			2,359	2,012	2,215	1,957	1,997

При сравнении скорости проникания азота (GTR) через резины с наполнителями, отличающимися объёмом микропор, установлено, что GTR резин с образцом N326 ($GTR = 1,7 \cdot 10^{-4}$) ниже, чем наполненных N121 ($GTR = 1,99 \cdot 10^{-4}$), что указывает на проникание газа через наноглобулярные частицы ТУ N121.

Отмечена тенденция снижения скорости проникания (GTR) азота через резину с увеличением суммарного содержания всех протоногенных кислородсодержащих групп (фенольных, карбоксильных и лактоновых) в техническом углероде (рис. 2, 3).

Однако точная оценка влияния каждой функциональной группы окисленного технического углерода на газопроницаемость резин затруднена из-за присутствия на углеродных слоях групп разного строения. В этой связи более информативным является обобщенный показатель энергии E_{sc} единичного графенового слоя C_{106} , как суммы энергий растяжения, изгиба, кручения и несвязанного взаимодействия между слоями. С помощью прикладного программного обеспечения Cambridgesoft Chem3D Ultra 14 было проведено моделирование углеродного слоя при температуре 420 К, не вызывающей в реальных условиях термической десорбции функциональных групп углеродных слоёв [9] и рассчитана энергия конформации E_{sc} для углеродных слоёв, схожих с реальными по функциональному составу. Выявлено, что при присоединении функциональных групп к краевым углеродным атомам возрастает дефектность углеродных слоёв не только по кривизне (при присоединении групп с одним атомом кислорода – ФГ или

ХГ), но и по изгибу (при присоединении групп с двумя (КГ) и тремя (ЛГ) атомами кислорода) (рис. 4).

Изменение E_{sc} конформации углеродных слоёв создаёт предпосылки для увеличения площади адгезионных контактов наполнителя с глобулами бутилкаучука. Следствием этих процессов можно ожидать увеличение плотности макромолекул в межфазном слое и препятствие прониканию молекул газов по межфазным границам в резине. Таким образом, по значению E_{sc} можно прогнозировать газобарьерные свойства резин: чем будет выше E_{sc} , тем ожидается меньшая скорость проникания газа через резину.

Экспериментальная проверка подтвердила данное предположение: получена прямолнейная обратная зависимость экспериментально установленных значений GTR резин, наполненных N326, от значений E_{sc} , рассчитанных методом моделирования на основе экспериментальных данных функционального анализа (рис. 5).

Полученная линейная зависимость демонстрирует, что снижение газопроницаемости резин соответствует увеличению энергии конформации углеродных слоёв, то есть их большей деформации. Снижение газопроницаемости резин обусловлено тем, что протоногенные группы углеродного наполнителя участвуют в образовании плотного и протяженного межфазного слоя. Макромолекулы бутилкаучука имеют конформацию глобулы. Для сближения атомов, образующих водородные связи и принадлежащих разным глобулам каучука и технического углерода, желателен изгиб углеродного слоя технического углерода. Мерой изгиба служит энергия конформации слоя.

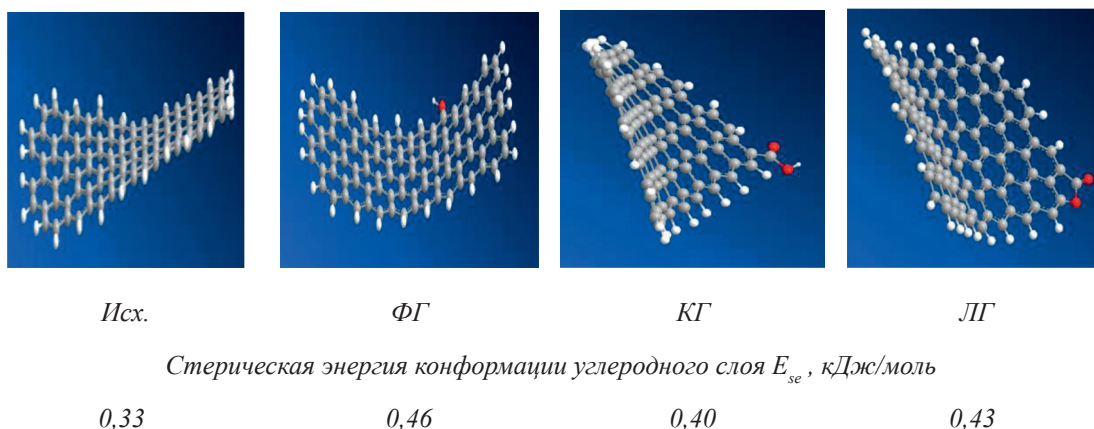


Рис. 4. Результаты моделирования углеродного слоя при температуре 420 К

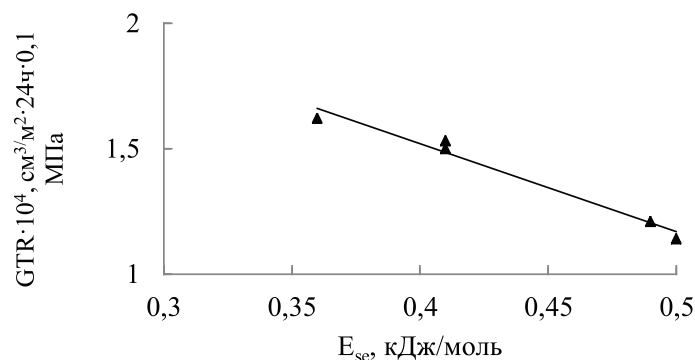


Рис. 5. Зависимость между скоростью GTR диффузии азота через резину, наполненную окисленными образцами технического углерода N326, и рассчитанной E_{se} по их функциональному анализу на углеродном слое C_{106}

Данное исследование показало, что путём направленной функционализации поверхности технического углерода, применяемого в качестве наполнителя резины на основе бутилкаучука, можно в 1,5 раза снизить скорость GTR диффузии азота через резину.

Таким образом, сочетание методов математического моделирования наноструктуры технического углерода и экспериментальных методов испытания резин привело к научному обоснованию получения нового модифицированного технического углерода и резин с улучшенными газобарьерными свойствами.

Список литературы

1. Раздьяконова Г.И., Лихолобов В.А., Моисеевская Г.В., Петин А.А., Караваев М.Ю. Инновационный дисперсный углерод. От идеи до технологии: монография / Минобрнауки России, ОмГТУ [и др.]. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. – 312 с.
2. Vander Wal R.L., Tomasek A.J. Soot nanostructure: dependence upon synthesis conditions // Combust. Flame. – 2004. – Vol. 136. – P. 129–140.
3. Шейл Р. Бакстон, Стэнли М. Робертс Введение в стереохимию органических соединений. – М.: Мир, 2005. – 312 с.

4. Дядченко В.П. Введение в стереохимию Методическая разработка для студентов. – М.: МГУ, 1994. – С. 74.

5. Дмитриев Д.И., Головкин А.К. Моделирование молекулярных структур нефтяных смол и асфальтенов и расчет их термодинамической устойчивости // Химия в интересах устойчивого развития. – 2010. – № 10. – С. 177–187.

6. Vander Wal R.L.I., Mueller C.J. Initial Investigation of Effects of Fuel Oxygenation on Nanostructure of Soot from a Direct-Injection Diesel Engine // Energy Fuel. – 2006. – Vol. 20 (6). – P. 2364–2369.

7. Hays M.D., Vander Wal R.L. Heterogeneous Soot Nanostructure in Atmospheric and Combustion Source Aerosols // ReceiVed 2006. – August 31.

8. Раздьяконова Г.И., Лихолобов В.А., Румянцев П.А., Вишневская А.Ю. Наноструктура технического углерода / Матер. VI Всероссийской конф. «Каучук и Резина – 2016: традиции и новации» Москва, 19–20 апреля 2016 г. – М.: ООО «Издательство КиР», 2016. – С. 54–55.

9. Нагорная М.Н., Раздьяконова Г.И., Румянцев П.А., Ходакова С.Я. Окисленный технический углерод для улучшения газобарьерных свойств резин: сборник научных трудов. – М.: ООО НПЦ ВЕСКОМ, 2016. – С. 373–378.

10. Дик Дж.С. Технология резины: Рецептуростроение и испытания / Под ред. Дика Дж.С.; Пер. с англ. Под ред. Шершнева В.А. – СПб.: Научные основы и технологии, 2010. – 620 с.

11. Бутырин Г.М. Высокопористые углеродные материалы. – М.: Химия, 1976. – С. 22.

12. Boehm H.P. Some aspects of the surface chemistry of carbon blacks and other carbons [Text] / H.P. Boehm // Carbon. – 1994. – V. 32, № 5. – P. 759–769.

УДК 54.056:615.32

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ЭКСТРАКЦИИ ПОЛИФЕНОЛОВ ИЗ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА ЯСНОТКОВЫЕ

Попова О.С., Скрыпник Л.Н.

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», Калининград,
e-mail: LSkrypnik@kantiana.ru

Исследована возможность применения трех методов экстракции: жидкостной водно-спиртовой, ультразвуковой водно-спиртовой, ультразвуковой мицеллярной для извлечения полифенолов из растительного сырья. Оценка эффективности использования данных методов проводили на растениях семейства Яснотковые: мяте луговой, шалфее лекарственном, иссопе лекарственном, лаванде узколистной, чабреце садовом. Для проведения экстракции использовали условия, определенные в результате анализа поверхностей отклика как оптимальные в экспериментах с душицей обыкновенной. Было установлено, что при экстракции полифенолов из растений мяты луговой, шалфея лекарственного, чабреца садового, иссопа лекарственного максимальный выход полифенолов наблюдался при использовании ультразвуковой мицеллярной экстракции. Особенно наглядно это было продемонстрировано для растений с более высоким уровнем биологически активных веществ фенольной природы. Сочетание ультразвуковой экстракции с использованием в качестве экстрагентов поверхностно-активных веществ позволяет не только сократить время экстракции, избежать этапа нагревания, что является более благоприятным для термически неустойчивых соединений, но и повысить выход экстрагируемых соединений.

Ключевые слова: ультразвуковая экстракция, водно-спиртовая экстракция, мицеллярная экстракция, полифенолы, растения, семейство Яснотковые

COMPARATIVE CHARACTERISTIC OF THE EFFICIENCY OF VARIOUS EXTRACTION METHODS OF POLYPHENOLS FROM PLANTS OF THE FAMILY LAMIACEAE

Popova O.S., Skrypnik L.N.

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, e-mail: LSkrypnik@kantiana.ru

The possibility of using liquid hydroalcoholic, ultrasonic hydroalcoholic, and ultrasonic micellar extraction of polyphenols from plant material was investigated. Evaluation of the effectiveness of the use of these methods was carried out on the plants of the family Lamiaceae: mint meadow, sage medicinal, hyssop medicinal, lavender narrow-leaved, and summer savory. Preliminarily the optimal extraction conditions by analyzing the response surfaces were determined. It was found that the maximal extracting of polyphenols from mint meadow, sage medicinal, hyssop medicinal, and summer savory was observed using ultrasonic micellar extraction. This was especially evident for plants with a high level of phenolic compounds. The combination of ultrasonic extraction with surfactants solutions allows not only to reduce the extraction time, and to avoid the heating stage, which is more favorable for thermally unstable compounds, but also to increase the yield of extractable compounds.

Keywords: ultrasonic extraction, hydroalcoholic extraction, micellar extraction, polyphenols, plants, family Lamiaceae

Благодаря содержанию биологически активных соединений растения семейства Яснотковые используются как лекарственные в медицине, как эфирносы в парфюмерии, как пряно-ароматические в пищевой промышленности и являются ценными медоносами. Представители семейства Яснотковые издавна широко использовались в народной и научной медицине. В большей степени их лечебные свойства обуславливаются наличием эфирных масел, которые накапливаются в растениях [1]. Однако в последнее время внимание ученых привлекают также антиоксидантные свойства растений данного семейства [2]. К соединениям с антиоксидантными функциями относятся и полифенолы. Полифенолы представляют собой многочисленный класс природных соединений, многооб-

разие которых обуславливается главным образом строением агликона (степенью окисленности трехуглеродного фрагмента, положением бокового фенильного радикала, величиной гетероцикла и другими признаками), а также составом гликозидного фрагмента [3].

До настоящего времени разработка единственного стандартного метода для эффективной и быстрой экстракции полифенолов из матриц растений остается проблемой [4]. Выделяют несколько основных подходов: во-первых, это так называемые «традиционные методы», основанные на способности фенольных соединений хорошо растворяться в водно-спиртовых растворах, во-вторых, это методы, относящиеся к направлению «зеленой химии». К этой группе методов относятся ультразвуко-

вая, микроволновая экстракция, экстракция сверхкритическими флюидами, CO₂-экстракция [4–6].

Целью работы явилось исследование эффективности различных методов экстракции полифенолов (жидкостной водно-спиртовой, ультразвуковой водно-спиртовой, ультразвуковой мицеллярной) из растений семейства Яснотковые: мяты луговой, шалфея лекарственного, иссопа лекарственного, лаванды узколистной, чабера садового.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования использовали растения душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.), мяты луговой (*Mentha arvensis* L.), шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.), иссопа лекарственного (*Hyssopus officinalis* L.), лаванды узколистной (*Lavandula angustifolia* Mill.), чабера садового (*Satureia hortensis* L.), собранные в период массового цветения на территории Ботанического сада БФУ им. И. Канта в 2016 г. Растения высушивали до постоянного веса при 60 °С, измельчали и хранили в темном месте при комнатной температуре.

Экстракцию полифенолов осуществляли классическим методом жидкостной экстракции с использованием водно-спиртовых растворов и методами, основанными на использовании ультразвука (с использованием в качестве экстрагентов водно-спиртовых растворов и водных растворов додецилсульфата натрия SDS). В качестве источника ультразвука использовали ультразвуковой гомогенизатор LABSONIC M (Sartorius, Германия).

Предварительно были подобраны оптимальные условия экстракции полифенолов данными методами из растительного материала, на примере душицы обыкновенной. Дизайн эксперимента осуществляли статистическому трехуровневому пятифакторному плану Бокса-Бенкена с использованием программного обеспечения Minitab 17 (MINITAB Inc., США). Бокс-Бенкен дизайн относится к группе методов, основанных на расчёте поверхностей отклика и позволяющих проводить исследования по оптимизации условий с наименьшим количеством экспериментов по сравнению с другими статистическими подходами [7]. Для жидкостной водно-спиртовой экстракции (ЖВСЭ) оптимальными являлись следующие параметры: pH – 3,0; температура – 60 °С; соотношение эта-

нол: вода – 50,0%; время – 48,7 мин; соотношение экстрагент: навеска – 31,3. Для ультразвуковой водно-спиртовой экстракции (УВСЭ): соотношение этанол: вода – 50,0%; pH – 7,0; время – 15 мин; амплитуда – 80%; цикл – 0,8 с. Для ультразвуковой мицеллярной экстракции (УМЭ): концентрация SDS – 86,4 ммоль/л; время – 15,0 мин; амплитуда – 63,8%; цикл – 0,8 с; соотношение экстрагент: навеска – 10,0.

Эффективность экстракции фенольных соединений оценивали по суммарному содержанию полифенолов, которое определяли спектрофотометрическим методом [8]. Количественное определение полифенолов основано на реакции образования берлинской лазури. В кислой среде фенольные соединения стехиометрически восстанавливают гексацианоферрат (III) калия до гексацианоферрата (II) калия, который в присутствии ионов трехвалентного железа образует окрашенное соединение (берлинская лазурь) с максимумом поглощения при 720 нм. Определение оптической плотности проводили на спектрофотометре Shimadzu UV-3600 (Shimadzu, Япония).

Для каждого вида экстракции эксперимент повторяли три раза. В таблицах и на рисунках приведены средние значения содержания полифенолов, выраженные на грамм сухого веса, с указанием стандартного отклонения. Достоверность различий между средними оценивали по критерию Тьюкки – Крамера (HSD). Достоверно различимые средние на рисунках обозначены различными строчными латинскими буквами.

Результаты исследования и их обсуждение

На сегодняшний день отсутствует единственный стандартный метод эффективной и быстрой экстракции полифенолов из матриц растений. Это в первую очередь связано с тем, что полифенолы представляют собой широкий класс соединений, включающий такие группы, как мономерные фенольные соединения, оксибензойные кислоты, оксикоричные кислоты, кумарины, флавоноиды [3]. В данной работе исследовали возможность использования для извлечения суммы полифенолов из растительной матрицы трех методов: жидкостной водно-спиртовой, ультразвуковой водно-спиртовой, ультразвуковой мицеллярной экстракции. Результаты исследования экстракции полифенолов из растений мяты луговой представлены на рис. 1.

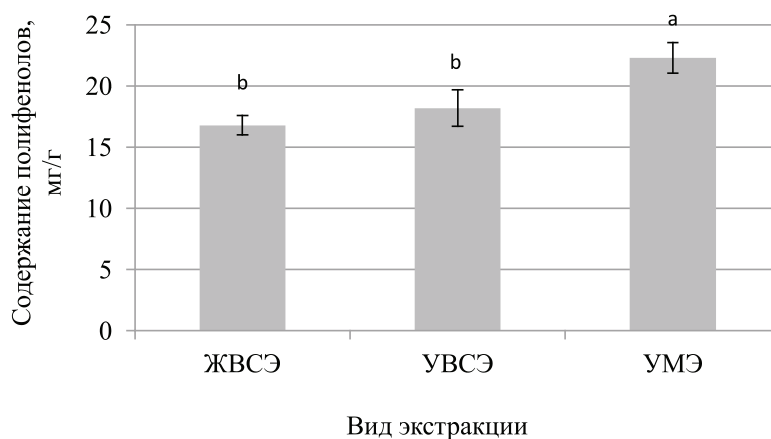


Рис. 1. Содержания полифенолов при использовании различных методов экстракции данных соединений из растений мяты луговой

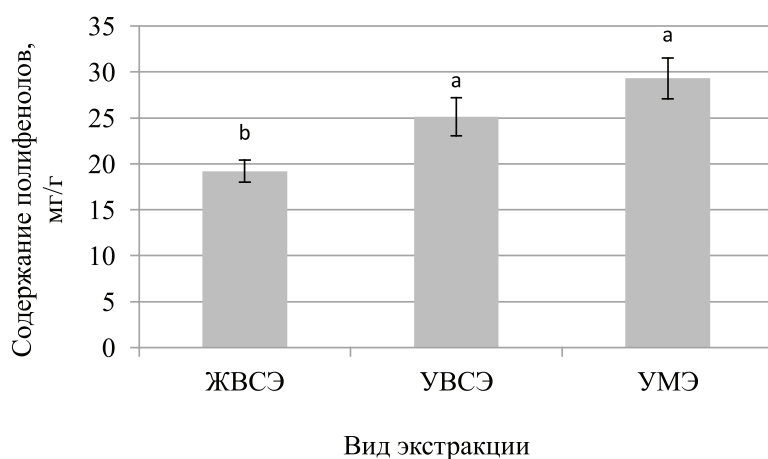


Рис. 2. Содержания полифенолов при использовании различных методов экстракции данных соединений из растений шалфея лекарственного

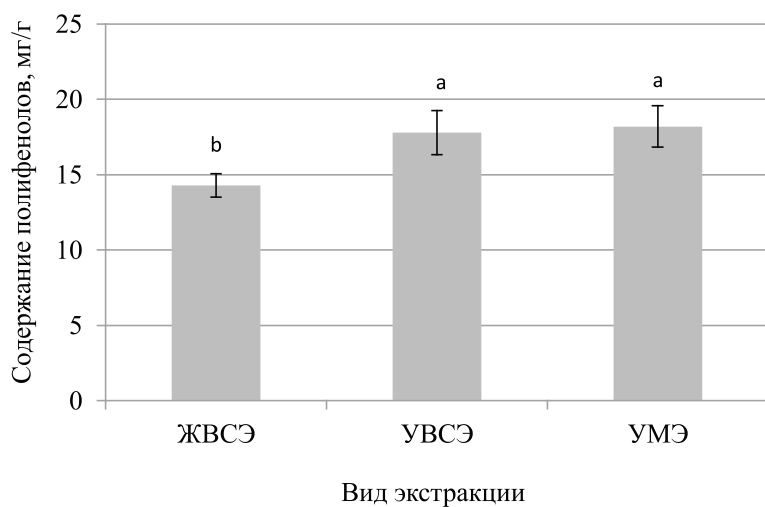


Рис. 3. Содержания полифенолов при использовании различных методов экстракции данных соединений из растений чабера садового

Как видно из представленных на рис. 1 данных, максимальный выход полифенолов наблюдался при использовании ультразвуковой мицеллярной экстракции ($22,3 \pm 1,2$ мг/г). Между жидкостной и ультразвуковой водно-спиртовой экстракцией достоверных различий не установлено. Уровень полифенолов при использовании данных методов составил от 16,8 до 18,2 мг/г.

На рис. 2 представлены результаты исследований экстракции полифенолов из растений шалфея лекарственного. Наименьший выход полифенолов ($19,2 \pm 1,2$ мг/г) из растительной матрицы наблюдался при использовании «традиционного метода» экстракции – жидкостной водно-спиртовой. При этом достоверных различий для мицеллярной и водно-спиртовой ультразвуковой экстракции выявлено не было. Уровень полифенолов варьировал в пределах от 25,1 до 29,3 мг/г.

Аналогичные результаты получены и при исследовании экстракции полифенолов из растений чабера садового (рис. 3). Максимальное содержание полифенолов определено при использовании метода ультразвуковой водно-спиртовой экстракции и мицеллярной ультразвуковой экстракции ($17,8 \pm 1,5$ и $18,2 \pm 1,4$ мг/г соответственно). Достоверно более низкие значения получены при экстракции полифенолов «традиционным» методом – $14,3 \pm 0,78$ мг/г.

На рис. 4 представлены результаты исследования экстракции полифенолов из растений иссопа лекарственного. Как видно из представленных на рис. 4 данных, достоверные различия в эффективности извлечения выявлены для всех трех видов экстракции. При этом максимальный выход наблюдался

для ультразвуковой мицеллярной экстракции ($42,7 \pm 3,2$ мг/г). Минимальное содержание полифенолов было определено при использовании жидкостной водно-спиртовой экстракции – $24,9 \pm 1,4$ мг/г. Также стоит отметить, что растения иссопа лекарственного отличались примерно в 2–3 раза более высоким уровнем полифенолов по сравнению с другими исследованными видами растений семейства Яснотковые.

На рис. 5 представлены результаты исследования экстракции полифенолов из растений лаванды узколистной. Данный вид растений характеризовался минимальным содержанием полифенолов. Их уровень не превышал 10 мг/г. Кроме того, при использовании различных подходов к экстракции полифенолов из растений данного вида не было установлено достоверных различий.

Как правило, при экстракции биологически активных соединений из растительной матрицы используют органические растворители, в частности растворы этанола или метанола. Однако развитие технологий так называемой «зеленой химии» основывается на постепенном отказе от такого рода веществ, поэтому в последнее время особое внимание при проведении процедур экстракции уделяется исследованиям возможности использования в качестве экстрагентов поверхностно-активных соединений и их мицеллярных растворов [9]. В ходе нашей работы было показано, что использование в качестве экстрагента растворов додецилсульфата натрия (SDS) позволяет эффективно проводить экстракцию полифенолов из пряно-вкусовых растений семейства Яснотковые.

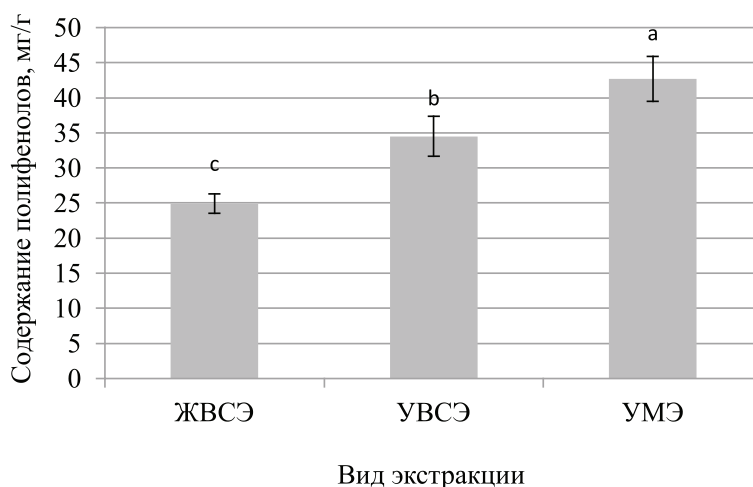


Рис. 4. Содержания полифенолов при использовании различных методов экстракции данных соединений из растений иссопа лекарственного

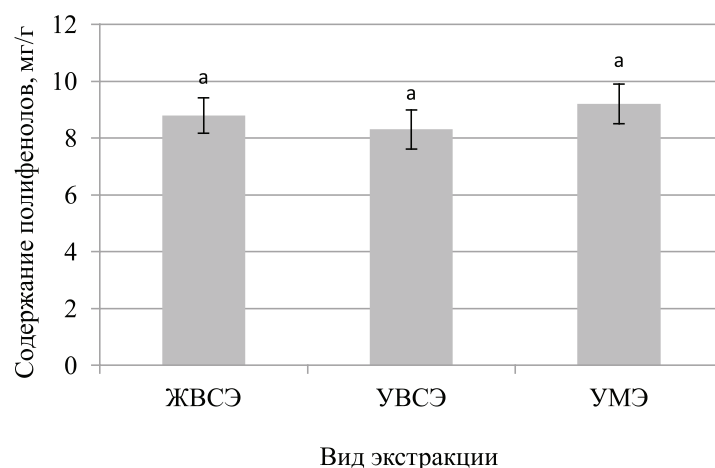


Рис. 5. Содержания полифенолов при использовании различных методов экстракции данных соединений из растений лаванды узколистной

Активно также внедряется в практику экстрагирования биологически активных растительных компонентов использование ультразвукового воздействия, которое позволяет сократить разрушение термически неустойчивых соединений и уменьшить время экстракции без потери выхода нужного вещества. Так, показана эффективность использования ультразвука при экстракции полифенолов из апельсинов [10], косточек винограда [11], листьев шалфея [12]. В ходе проведенных нами исследований было показано, что применение ультразвука позволяет сократить время экстракции. Так, при использовании «традиционного» метода жидкостной экстракции для достижения максимального выхода полифенолов оптимальное время составляло около 50 минут, тогда как при ультразвуковой экстракции – 15 минут.

Заключение

Таким образом, было показано, что при экстракции полифенолов из пряно-вкусовых растений семейства Яснотковые использование в качестве экстрагентов поверхностно-активных веществ в комбинации с ультразвуковой экстракцией позволяет повысить эффективность извлечения полифенолов из растительного материала, что особенно наглядно было продемонстрировано для растений с более высоким уровнем биологически активных веществ фенольной природы.

Список литературы

1. Мирович В.М., Коненкина Т.А., Федосеева Г.М., Головных Н.Н. Исследование качественного состава эфирного масла душицы обыкновенной, произрастающей в Восточ-

ной Сибири // Химия растительного сырья. – 2008. – № 2. – С. 61–64.

2. Абдуллин И.Ф., Чернышева Н.Н., Турова Е.Н., Офицеров Е.Н., Будников Г.К., Хазиев Р.Ш. Экспрессная оценка антиоксидантной активности растительного сырья // II Всероссийская конференция «Химия и технология растительных веществ» (Казань, 24–27 июня 2012 г.). – Казань: Изд-во КГУ, 2012. – С. 77–78.

3. Загоскина Н.В., Николаева Т.Н., Лапшин П.В., Заварзин А.А., Заварзина А.Г. Водорастворимые фенольные соединения у лишайников // Микробиология. – 2013. – Т. 82, № 4. – С. 434–441.

4. Ameer K., Shahbaz H.M., Kwon J.H. Green Extraction Methods for Polyphenols from Plant Matrices and Their Byproducts: A Review // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2017. – Vol. 16, № 2. – P. 295–315.

5. Virot M., Tomao V., Le Bourvellec C., Renard C.M., Chemat F. Towards the industrial production of antioxidants from food processing by-products with ultrasound-assisted extraction // Ultrasonics sonochemistry. – 2010. – Vol. 17, № 6. – P. 1066–1074.

6. Ziyatdinova G., Ziganshina E., Cong P.N., Budnikov H. Ultrasound-assisted micellar extraction of phenolic antioxidants from spices and antioxidant properties of the extracts based on coulometric titration data // Analytical Methods. – 2016. – Vol. 8, № 39. – P. 7150–7157.

7. Gupta C., Verma R. Visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content and antioxidant activity of three common vegetable // International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – 2011. – Vol. 2, № 1. – P. 175.

8. Jeganathan P.M. et al. Model development and process optimization for solvent extraction of polyphenols from red grapes using Box–Behnken design // Preparative Biochemistry and Biotechnology. – 2014. – Vol. 44, № 1. – P. 56–67.

9. Ziyatdinova G.K., Ziganshina E.R., Budnikov H.C. Application of surfactants in voltammetric analysis // Journal of Analytical Chemistry. – 2012. – Vol. 67, № 11. – P. 869–879.

10. Khan M.K. et al. Ultrasound-assisted extraction of polyphenols (flavanone glycosides) from orange (*Citrus sinensis* L.) peel // Food Chemistry. – 2010. – Vol. 119, № 2. – P. 851–858.

11. Zou T.B. et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of anthocyanins from mulberry, using response surface methodology // International journal of molecular sciences. – 2011. – Vol. 12, № 5. – P. 3006–3017.

12. Dent M. et al. Comparison of conventional and ultrasound-assisted extraction techniques on mass fraction of phenolic compounds from sage (*Salvia officinalis* L.) // Chemical and Biochemical Engineering Quarterly. – 2015. – Vol. 29, № 3. – P. 475–484.

УДК 547.91: 550.43

СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ДОННЫХ ОСАДКОВ ПРЕСНОГО И ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННОГО ОЗЕР ЮГА СИБИРИ ПО РАЗРЕЗУ

^{1,2}Серебренникова О.В., ^{1,2}Ельчанинова Е.А., ²Гладких М.А., ¹Русских И.В.,
¹Стрельникова Е.Б., ²Ерофеев В.И.

¹ФГБУН «Институт химии нефти СО РАН», Томск, e-mail: ovs49@yahoo.com;

²ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Томск, e-mail: erofeevvi@mail.ru

Настоящая статья посвящена исследованию особенностей состава и направленности трансформации органических соединений в толще донных осадков пресного озера Фыркал и высокоминерализованного озера Мормышанского, расположенных в степной зоне юга Сибири, в связи со спецификой источника и условий накопления органического вещества. Показано, что основными отличиями осадков озера Фыркал и Мормышанского является низкое общее содержание в последних всех групп органических соединений, отсутствие сквалена и соединений со спиртовыми группами, следовых количеств токоферолов и алкилфурана. Состав стероидов в осадках характеризует соотношение растительного и животного источников органического вещества, состав n-алканов – различных представителей растительных форм. Молекулярный состав пентациклических тритерпеноидов зависит от окислительно-восстановительного потенциала в бассейне седиментации. Вниз по вертикальному профилю осадков в составе тритерпеноидов снижается относительное содержание олеановых структур, в осадках озера Фыркал – растет доля насыщенных структур, отсутствующих в осадках озера Мормышанского.

Ключевые слова: степные озера, донные отложения, углеводороды, кислородсодержащие соединения, стероиды, тритерпеноиды

CONTENT OF ORGANIC COMPOUNDS IN BOTTOM SEDIMENTS IN TWO STEPPE LAKES OF SOUTH SIBERIA

^{1,2}Serebrennikova O.V., ^{1,2}Elchaninova E.A., ²Gladkikh M.A., ¹Russkikh I.V.,
¹Strelnikova E.B., ²Erofeev V.I.

¹Institute of Petroleum Chemistry SB RAS, Tomsk, e-mail: ovs49@yahoo.com;

²National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: erofeevvi@mail.ru

This article is dedicated to the study of the characteristics of the composition and way of the transformation of organic compounds in the thickness of bottom sediments of the freshwater lake Fyrkal and the highly mineralized lake Mormyshanskoe located in the steppe zone of the south of Siberia due to the source characteristics and conditions of the accumulation of organic substances. It is shown that the main difference between sediments of the Fyrkal and the Mormyshanskoe is a low content of organic compounds, absence of squalene and compounds with alcohol groups, trace amounts of tocopherols and alkylfurane. Composition of steroids in sediments are characterized by the ratio of plant and animal sources of organic substances, the composition of n-alkanes – representatives of various plant forms. The molecular structure of pentacyclic triterpenoids depends on the redox potential in the sedimentation basin. Down the vertical profile of sediments the relative content of olean structures of the Fyrkal sediments decreases in the composition of triterpenoids, but the ratio of saturated structures absent in the Mormyshanskoe lake sediments increases.

Keywords: steppe lake, sediments, hydrocarbons, oxygen-containing compounds, steroids, triterpenoids

Озерные отложения содержат липиды живых организмов, находящихся в озере, и поступающих с водосборной площади. Распределение и состав липидов в донных осадках (ДО) связаны с источниками и процессами трансформации органического вещества (ОВ) [6, 8], изменениями окружающей среды на местном и региональном уровне [5, 7].

Цель данной работы – выявление особенностей состава и направленности трансформации органических соединений в толще донных осадков пресного и высокоминерализованного озер степной зоны

юга Сибири в связи со спецификой источника и условий накопления органического вещества.

Материалы и методы исследования

Для сравнительного анализа состава органических соединений ДО степных озер были выбраны пресное оз. Фыркал (Хакасия) и гиперсолёное оз. Мормышанское (Алтайский край).

Вода оз. Фыркал слабощелочная, по составу гидрокарбонатная, кальциево-магниева, минерализация составляет 0,3 г/дм³, окислительно-восстановительный потенци-

ал в поверхностном слое сапропелевидных осадков – -45 мВ [1]. Илы населены диатомеями и другими водорослями. Растительность по берегам оз. Фыркал представлена степными травами.

Оз. Мормышанское – соленое бессточное озеро площадью 5,4 км², расположено в Романовском районе Алтайского края. Минерализация вод оз. Мормышанского составляет 280–355 г/дм³ [4], что резко ограничивает развитие полноценных растительных сообществ. В больших количествах присутствуют рачки *Artemia Salina*. Рапа озера представляет собой сульфатно-хлоридный натриевый рассол со щелочной реакцией среды. Значения окислительно-восстановительного потенциала донных отложений находятся в интервале +9 – +35 мВ. По берегам озера преобладают солерос обыкновенный, распространены некоторые разновидности щавеля, растет тростник обыкновенный [2], вблизи озера расположены заросли акации.

Скважины с отбором керна были пробурены на расстоянии около 10 м от восточного берега озера Мормышанского и северного берега озера Фыркал.

Битуминовые компоненты (липиды) выделяли из высушенных и измельченных ДО экстракцией раствором 7% метанола в хлороформе при 60 °С.

Анализ состава органических соединений проводили на магнитном хромато-масс-спектрометре DFS фирмы «Thermo Scientific» (Германия). Условия проведения анализа приведены в работе [3].

Результаты исследования и их обсуждение

В липидах, присутствующих в ДО пресного озера Фыркал и гиперсоленого озера Мормышанского идентифицированы алканы, ароматические углеводороды (УВ), карбоновые кислоты и их эфиры, альдегиды, кетоны, токоферолы, фураны, тиофены, стероиды и тритерпеноиды. Кроме того, в ДО пресного оз. Фыркал обнаружены ациклические спирты (таблица). По всему исследованному разрезу ДО озера Фыркал содержат существенно более высокие количества всех классов липидных компонентов по сравнению с ДО озера Мормышанского, что связано с большим количеством живых организмов растительного происхождения, за счет которых происходило накопление ОБ в пресном озере. При сохранении в пределах каждого разреза качественного группового состава липидов, свидетельствующего

о достаточной стабильности обстановок и источника ОБ, поступавшего в осадок на протяжении всего периода осадконакопления, содержание отдельных групп в глубоко захороненных осадках снижается.

Повышенное содержание некоторых соединений отмечено в средней части разрезов. Это касается ациклических спиртов и *n*-алкан-2-онов в ДО озера Фыркал, *n*-альдегидов и метиловых эфиров карбоновых кислот в ДО оз. Мормышанского, а также *n*-алканов в осадках обоих разрезов. При этом молекулярный состав этих групп соединений на отдельных участках разреза остается практически неизменным (рис. 1). Только в составе *n*-алканов оз. Мормышанского в верхней части разреза максимум молекулярно-массового распределения приходится на *n*-алканы C₂₉ и C₃₁, отвечающие наземной флоре, в средней – фиксируется дополнительный всплеск концентрации C₂₃ и C₂₅, характерных для макрофитов, а в нижней – максимум смещен на C₂₇, что может быть следствием изменения в количественном соотношении поступающих в нижний и верхний слои осадков отдельных представителей наземной флоры. В ДО оз. Фыркал по всему разрезу вклад наземных растений и макрофитов в формировании состава ОБ мало менялся.

Отличием ДО оз. Мормышанского является также отсутствие по всему разрезу сквалена и ациклических спиртов, а также пониженное содержание высокомолекулярных представителей метиловых эфиров карбоновых кислот.

Содержание карбоновых кислот, представленных во всех образцах донных отложений рядом C₆–C₁₈ с преобладанием четных гомологов, а среди них пальмитиновой кислоты (C₁₆), максимально в поверхностном слое и снижается вниз по глубине, свидетельствуя о трансформации этих соединений в толще ДО. Во всех исследованных ДО обнаружены изопропиловые эфиры миристиновой и пальмитиновой кислот, а также *n*-альдегиды ряда C₂₂–C₂₈ с преобладанием четных структур.

Алифатические спирты, характерные для водных растений и включающие *n*-алканолаы ряда C₁₉–C₃₀ с доминированием четных гомологов, и фитол – продукт деградации хлорофилла фотосинтезирующих растений, обнаружены только в ДО пресного озера.

В составе ДО обоих озер обнаружены токоферолы (витамин Е), среди которых в оз. Фыркал доминирует α -форма, а в ДО соленого оз. Мормышанского в сопоставимом количестве присутствует также его ацетат.

Содержание отдельных групп органических соединений в ДО, мкг/г сухого осадка

Соединение	Глубина залегания ДО, см					
	0–10	30–40	70–80	0–10	30–40	70–80
	Фыркал			Мормышанское		
Ациклические структуры						
<i>n</i> -Алканы	7,66	9,12	2,30	0,22	0,69	0,11
Сквален	0,14	0,06	0,002	0	0	0
Кислоты	1,42	0,94	0,29	0,11	0,03	0,01
Кетоны:	1,33	1,75	0,59	0,06	0,04	0,03
Изопреноидные	0,26	0,20	0,04	0,03	0,01	0,003
<i>n</i> -Алкан-2-оны	1,08	1,55	0,56	0,03	0,03	0,02
<i>n</i> -Альдегиды	0,27	0,12	0,17	0,01	0,11	0,04
Спирты:	1,65	2,50	0,35	0	0	0
<i>n</i> -Алканолаы	1,08	1,32	0,27	0	0	0
Фитол	0,57	1,18	0,08	0	0	0
Эфиры:	0,76	0,61	0,14	0,02	0,04	0,03
Метилвые	0,64	0,56	0,12	0,01	0,03	0,01
Изопропиловые	0,12	0,05	0,03	0,01	0,01	0,02
Циклические структуры						
Стероиды	0,72	0,53	0,08	0,02	0,01	0,002
Тритерпеноиды	0,50	0,46	0,05	0,01	0,01	0,004
Токоферолы	0,30	0,25	0,03	0,002	следы	следы
Алкилфураны	0,05	0,06	0,01	0	0	0
Алкилтиофены	0,06	0,05	0,02	0,01	0,01	0,04
ПАУ*	0,28	0,23	0,05	0,01	0,01	0,01
Сумма	14,62	16,29	4,05	0,46	0,94	0,26

Примечание. *Полициклические ароматические УВ.

Алкилтиофены, содержание которых снижается вниз по глубине ДО оз. Фыркал и возрастает – в ДО оз. Мормышанского, представлены соединениями C_{20} с нормальным и изопреноидным алкильным заместителями. В ДО оз. Фыркал присутствует также 3-метил-2-(3,7,11-триметилдодецил)-фуран – фуран C_{20} с изопреноидной цепью.

ДО исследованных озер характеризуются наличием ПАУ, представленных би-(БА), три- (ТА) и тетрациклическими (ТеА) структурами. Их суммарное содержание минимально в глубоко захороненных осадках (рис. 2).

Среди ароматических соединений в ДО оз. Фыркал по всему разрезу доминируют биарены – нафталин, его метил- и полиметилзамещенные производные, а преобладает в смеси дигидротриметилнафталин. Триарены представлены фенантреном и его метил-, диметил- и триметилзамещенными гомологами, а тетрациклические арены – флуорантеном и пиреном. В ДО оз. Мормышанского биарены присутствуют в следовых количествах. На глубинах до 40 см в составе аренов преобладают трицикли-

ческие (преимущественно фенантрен), а ниже – тетрациклические (пирен и флуорантен) структуры.

Содержание стероидов, характерных для живых организмов и современных осадков, снижается с глубиной захоронения ДО обоих озер. В их составе в ДО оз. Фыркал доминируют насыщенные стигмастаноны (C_{29}) с преобладанием α -изомера. Вниз по разрезу величина отношения изомеров α к β возрастает от 2,3 до 3,7, суммарная доля C_{29} в составе стероидов – от 70 до 82 % отн. В отличие от оз. Фыркал, в верхнем слое ДО оз. Мормышанского в составе стероидов преобладают (54% отн.) холестераноны (C_{27}), с отношением α/β , составляющем 0,3. С увеличением глубины захоронения осадка доля C_{27} стероидов резко снижается, и в осадке на глубине 70–80 см стероиды представлены исключительно соединениями C_{29} (рис. 2). Отношение α/β холестеранонов C_{27} возрастает на глубине 30–40 см до 1,0, а стигмастанонов – от 0,6 до 0,8, а на глубине 70–80 см и до 1,5. В ДО оз. Фыркал присутствует стигмаст-5,22-диен-3-ол, содержание которого, как и остальных сте-

роидов, вниз по разрезу снижается. В ДО оз. Мормышанского стероиды со спиртовыми заместителями отсутствуют. Доминирование в верхнем слое ДО оз. Мормышанского стероидов – производных холестерина и преобладание в составе холестанонов 5β изомера обусловлено широким развитием в водоеме представителей животного мира (рачок *Artemia Salina*). В остальных слоях, а также в ДО оз. Фыркал преобладают продукты преобразования ситостерола, характерного для растительных сообществ.

Пентациклические тритерпеноиды (ПЦТ) представлены в исследованных ДО соединениями рядов олеана, лупена и гопаноидами. Структуры лупенового ряда встречаются во многих растениях, олеанового – ограничены покрытосеменными, а гопаноиды присутствуют в биомассе бактерий, в частности, в цианобактериях [9]. Суммарное содержание ПЦТ в ДО оз. Фыркал несколько ниже, чем стероидов. Отношение содержания ПЦТ к стероидам варьирует по разрезу от 0,7 до 0,9. В верхнем слое осадков оз. Мормышан-

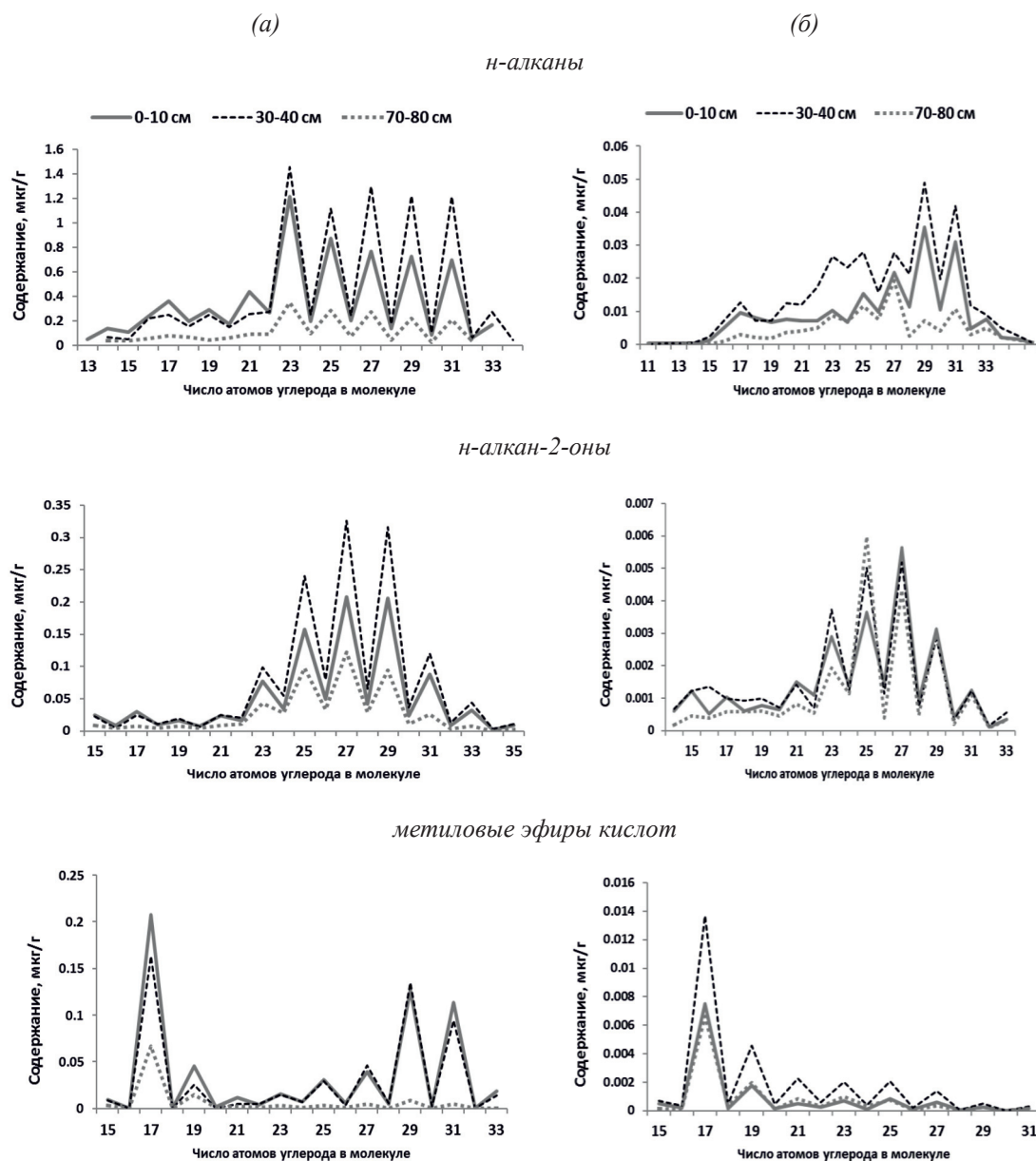


Рис. 1. Молекулярный состав отдельных групп ациклических органических соединений в ДО оз. Фыркал (а) и оз. Мормышанского (б)

ского величина этого отношения еще ниже (0,5), но резко возрастает до 1,6–2,3 в нижней части разреза. В осадках обоих разрезов отсутствуют ПЦТ, содержащие в своей структуре спиртовую группу, присутствует только ацетилированное производное тараксерола. Основная масса представлена кетопроизводными олеаненов, лупенов и гопенов, суммарное содержание которых в осадках обоих разрезов снижается с увеличением глубины захоронения. Но во всех исследованных осадках доминирующую роль в составе ПЦТ играют УВ, а в ДО оз. Мормышанского они являются единственными представителями гопаноидов (рис. 3).

В ДО оз. Фыркал УВ состоят из гопанов и гопенов с подавляющим преобладанием диплоптена. В разрезе ДО оз. Мормышанского отсутствуют гопаны, а в составе гопенов не обнаружен диплоптен, но в верхнем слое, наряду с гопенами, среди которых преобладает гоп-17(21)-ен, зафиксировано наличие УВ группы олеанов – тараксерена. Отсутствие в ДО оз. Мормышанского в составе ПЦТ насыщенных УВ является, видимо, следствием повышенного окислительно-восстановительного потенциала в этом

озере. В разрезе ДО оз. Фыркал относительное содержание насыщенных структур в составе УВ последовательно возрастает вниз по разрезу от 18 до 54% отн., а общее содержание насыщенных соединений в составе ПЦТ – от 23 до 44% отн.

Насыщенные гопаны биологического типа представлены в ДО оз. Фыркал соединениями C_{27} (17 β H), C_{29} , C_{30} и C_{31} (17 β H, 21 β H). Относительное содержание C_{27} и C_{29} гопанов вверх по разрезу снижается, возрастает доля C_{30} гопана, а C_{31} – остается практически неизменной. Доля УВ в составе насыщенных ПЦТ возрастает вниз по разрезу от 41 до 78% отн.

Выводы

1. Повышенное содержание органических соединений, зафиксированное в осадках пресного озера Фыркал, обусловлено восстановительными условиями и широким развитием в водоеме растительных форм. Напротив, окислительная среда в осадках высокоминерализованного Мормышанского озера и отсутствие в нем водных растений определили очень низкое содержание в осадках органического вещества.

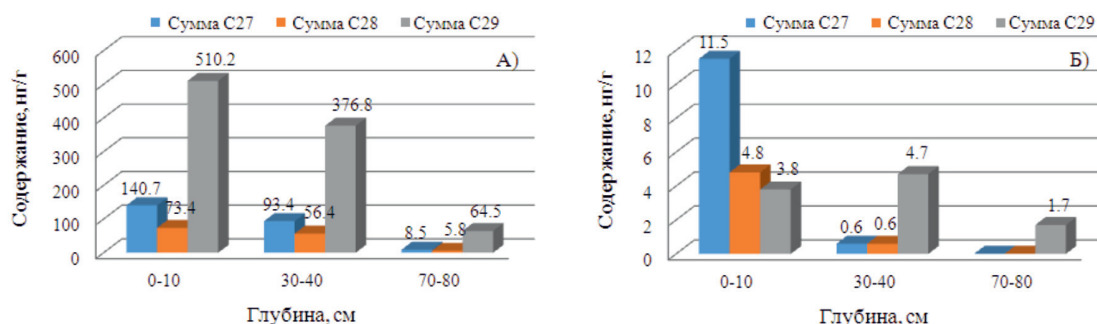


Рис. 2. Состав стероидов в ДО озера Фыркал (А) и Мормышанского (Б)

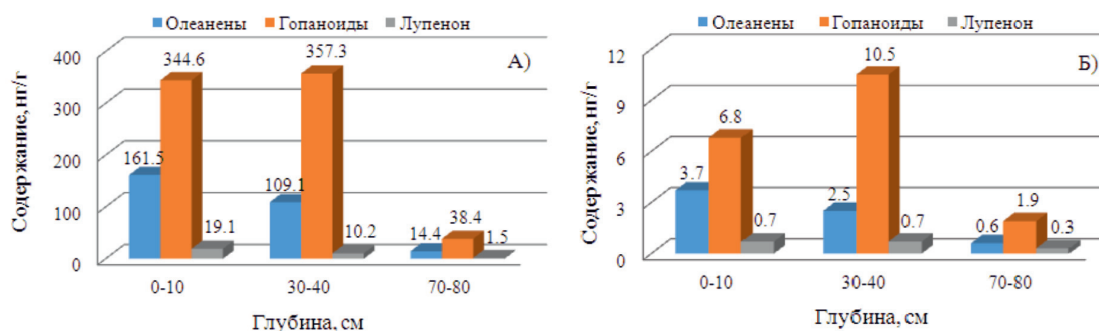


Рис. 3. Распределение суммарного содержания отдельных групп ПЦТ в ДО озера Фыркал (А) и Мормышанского (Б): сплошная заливка – УВ, штриховка – кислородсодержащие

2. Особенности состава стероидов в верхнем слое осадка озера Мормышанского – преобладание производных холестерина – вызваны широким развитием в водоеме рачков *Artemia Salina*, а доминирование по всему разрезу осадков озера Фыркал производных растительного ситостерола – диатомовых водорослей и макрофитов.

3. Низкие значения окислительно-восстановительного потенциала в осадках озера Фыркал привели к повышенной доле насыщенных структур в составе пентациклических тритерпеноидов, а набор гопаноидов указывает на участие биомассы бактерий в формировании состава органического вещества в этих осадках.

4. С увеличением глубины захоронения осадка в озере Фыркал в составе насыщенных пентациклических тритерпеноидов растет доля УВ, указывая на протекание процессов восстановления кислородсодержащих заместителей.

5. Увеличение концентрации органических соединений в донных осадках озера Мормышанского, направленность изменения состава н-алканов, стероидов и пентациклических тритерпеноидов на глубине 40 см может быть следствием более низкой по сравнению с современной соленостью вод в бассейне, позволившей развиваться в этот период водорослевому материалу.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант 15-05-03910).

Список литературы

1. Природные воды Ширинского района республики Хакасия / Под ред. В.П. Парначева. – Томск: Изд-во Томского ун-та. – 2003. – 183 с.
2. Семикина С.С., Барышникова О.Н., Барышников Г.Я. Влияние природных условий на формирование лечебных грязевых озер (на примере Мормышанского озера) // География и природопользование Сибири. – 2013. – № 16. – С. 162–173.
3. Серебренникова О.В., Стрельникова Е.Б., Дучко М.А., Кадычагов П.Б., Русских И.В. Химический состав органического вещества донных отложений пресных и соленых озер юга Сибири // Водные ресурсы. – 2015. – Т. 42, № 6. – С. 623–634.
4. Современное состояние курортно-рекреационного потенциала Сибири / Левицкий Е.Ф., Джабарова Н.К., Зятева О.Ф., Яковенко Э.С. – Томск: Изд-во Томского ун-та. – 2001. – 103 с.
5. Meyers P.A. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes // Organic geochemistry. – 2003. – V. 34. – P. 261–289.
6. Muri G., Wakeham S.G. Organic matter and lipids in sediments of Lake Bled (NW Slovenia): source and effect of anoxic and oxic depositional regimes // Organic Geochemistry. – 2006. – V. 37. – P. 1664–1679.
7. Ortiz J.E., Moreno L., Torres T., Vegas J., Ruiz-Zapata B., García-Cortés A., Galán L., Pérez-González A.A. 220 ka paleoenvironmental reconstruction of the Fuentillejo maar lake record (Central Spain) using biomarker analysis // Organic Geochemistry. – 2013. – V. 55. – P. 85–97.
8. Pearson E.J., Farrimond P., Juggins S. Lipid geochemistry of lake sediments from semi-arid Spain: relationships with source inputs and environmental factors // Organic Geochemistry. – 2007. – V. 38. – P. 1169–1195.
9. Peters K.E. The Biomarker Guide: Biomarkers in the Environment and Human History / K.E. Peters, C.C. Walters, J.M. Moldowan. – Cambridge: University Press, 2005. – V. 1. – 492 p.

УДК 544.122.4

ВЛИЯНИЕ СТЕРЕОИЗОМЕРИИ ЗВЕНЬЕВ НА СВОЙСТВА ГИДРИРОВАННЫХ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ

^{1,2}Хорова Е.А., ^{2,3}Раздьяконова Г.И., ¹Ходакова С.Я., ²Румянцев П.А.

¹ФГУП «ФНПЦ «Прогресс», Омск, e-mail: khorova.59@mail.ru;

²ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет», Омск;

³ФГБУН Институт проблем переработки углеводородов Сибирского отделения
Российской академии наук, Омск

Представлены результаты исследования структуры гидрированных бутадиен-нитрильных каучуков (ГБНК) с содержанием акрилонитрила от 34% до 49% и степенью ненасыщенности от 0,9% до 6% и их смесей методом молекулярного моделирования с использованием прикладного программного обеспечения в диапазоне температур от 0 до 423 К. За обобщенный параметр структуры макромолекул ГБНК принята стерическая энергия E_{se} конформации. Выявлена прямолинейная обратная зависимость E_{se} от степени их насыщенности: чем меньше содержание остаточных двойных связей (ОДС), тем больше значение E_{se} . Установлено, что смесь каучуков Therban AT 5065 VP и Therban AT 5005 VP в соотношении 60:40 сохраняет свои эластические свойства при более низкой температуре стеклования (минус 15,4 °C). Выявлены закономерности изменения функциональных свойств резин на основе ГБНК от величины E_{se} : чем выше E_{se} , тем меньше скорость проникновения воздуха и углеводородных сред в резину. Сочетание методов молекулярного моделирования структуры ГБНК и экспериментальных методов испытания резин на его основе привело к научному обоснованию получения резин с улучшенными свойствами.

Ключевые слова: гидрированный бутадиен-нитрильный каучук, структура, свойства, моделирование, энергия конформации, температура стеклования

THE INFLUENCE OF LINKS STEREOISOMERISM ON PROPERTIES OF HYDROGENATED BUTADIENE-NITRILE RUBBERS

^{1,2}Khorova E.A., ^{2,3}Razdyakonova G.I., ¹Khodakova S.Ya., ²Rumyantsev P.A.

¹FRPC «Progress», Omsk, e-mail: khorova.59@mail.ru;

²Omsk State Technical University, Omsk;

³Institute of hydrocarbons processing Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, Omsk

It is presented the results of researching the structure of hydrogenated nitrile butadiene rubbers (HNBR) with acrylonitrile proportion from 34% to 49% and the degree of nonsaturation from 0,9% to 6% and their mixtures by molecular simulation using application software at the temperature ranged from 0 to 423K. So for a generalized parameter of macromolecules HNBR structure is adopted steric energy E_{se} of conformation. It is revealed the straight reverse dependence of E_{se} to the degree of their saturation: the less content of residual double bonds (RDB), the greater is the value of E_{se} . It is stated that the mixture of rubbers Therban AT 5065 VP and Therban AT 5005 VP in 60:40 ratio conserves its elastic properties at lower temperature of vitrification (minus 15,4 °C). It is revealed the change regularities of the functional properties of rubbers based on HBNR depending on the value of E_{se} : the greater is E_{se} , the less is speed of air penetration and hydrocarbon environments into rubber. The combination of molecular modeling structure of HNBR methods and experimental methods of testing the rubbers on its base have led to the scientific validity of receiving rubbers with improved properties.

Keywords: hydrogenated butadiene-nitrile rubber, structure, properties, modeling, conformation energy, glass transition temperature

Структура любого полимера представляется довольно сложной, и для ее оценки недостаточно знаний химического строения макромолекул. Для изучения структуры полимеров используются методы, основанные на измерении зависимости какого-либо показателя физических свойств от его строения [1], в частности необходимо определить такие характеристики, как молекулярная масса (ММ), конфигурация и конформация макромолекул [2].

Согласно представлениям стереохимии [3] макромолекулы полимеров под действием теплового движения или внешних сил могут принимать различные

геометрические формы (конформации), переходящие друг в друга без разрыва химических связей [4]. Способность полимерной цепи фигурировать во множестве различных конформаций при неизменной конфигурации макромолекул связана с внутренним вращением звеньев вокруг одинарных углерод-углеродных связей, изгибом связей и т.д. Данные о конформациях являются основой для исследования взаимосвязи пространственного строения и физических и химических свойств полимеров с концентрацией внимания на «внутренней жизни» макромолекул в отсутствие химических реакций [5].

Стереохимический подход применим и к синтетическим каучукам, в частности к гидрированным бутадиен-нитрильным (ГБНК). Именно конформационные различия насыщенных и частично насыщенных ГБНК с различным содержанием полярных групп определяют в конечном итоге различия в физико-химических свойствах, дают возможность их направленного регулирования и прогнозирования для получения резин, предназначенных для эксплуатации в углеводородных средах и на воздухе при температурах до 150 °С.

Возможность оценить поведение ГБНК на основании анализа их пространственного строения предоставляет метод молекулярного моделирования конформаций, реализованный с использованием прикладного программного обеспечения Cambridgesoft Chem3D Ultra 14 [6]. В его основе лежат наглядные представления о геометрических характеристиках и энергии макромолекулы. Каждой конформации макромолекулы соответствует определенная стерическая энергия E_{sc} (steric energy) – полная внутренняя ее энергия, включающая составляющие энергий растяжения, изгиба, кручения и несвязанных взаимодействий (электростатического, дисперсионного, притяжения и отталкивания) и т.д. [7]. Для расчета углеводородных связей адаптированы методы [8, 9].

Для того чтобы произвести расчет какой-либо конформации макромолекулы, необходимо ее построить на экране монитора. По умолчанию базовым элементом установлен углерод [10]. Программа автоматически добавляет к скелету молекулы нужное количество атомов водорода, выделяет наиболее выгодную конформацию макромолекул и с помощью имеющихся инструментов вычисляет ее полную энергию. Сопоставляя результаты вычислений с опытными данными, можно определить закономерности проявлений свойств реальных макромолекул. Таким образом, компьютерное моделирование выступает в качестве связующего между теорией и физическим экспериментом [11]. Так, E_{sc} ГБНК, определенная методом молекулярного моделирования, является обобщающим параметром для характеристики его структуры. В этой связи актуальным является исследование влияния стереоизомерии звеньев на свойства ГБНК.

Учитывая, что конформации макромолекул полимеров могут изменяться в зависимости от внешних факторов, в частности от температуры [2], моделирование

структуры макромолекул ГБНК проводили в диапазоне от 0 до 423 К – максимально заданной температуре эксплуатации резин на их основе. Поскольку с увеличением ММ возрастает число возможных конформаций, которые может принимать макромолекула, а от ее величины напрямую зависит уровень стерической энергии конформации (E_{sc}), в компьютерной расчетной программе ММ мономерных звеньев ГБНК задавалась в пределах 10 000.

Цель данного исследования – установить взаимосвязь между структурой и свойствами на основании изучения конформационных превращений макромолекул ГБНК и их смесей при температурах до 423 К, а также экспериментально проверить влияние структуры на процесс стеклования, при котором каучук не способен изменять свою конформацию. Исследование зависимости температуры стеклования (T_g) от структуры предоставляет дополнительные сведения о природе стеклования в ГБНК, стойких к прониканию нефтепродуктов и воздуха при повышенных температурах.

В качестве объектов исследования использовали:

- ГБНК Therban с разным содержанием акрилонитрила (АН) и остаточных двойных связей (ОДС) и ГБНК БНК-В-4030 (табл. 1);
- смеси ГБНК Therban AT 5065 VP и Therban AT 5005 VP с максимальным содержанием АН (49%), с низким (6,0%) и чрезвычайно низким (0,9%) значением ОДС в соотношениях 80:20, 70:30, 60:40 и 50:50 соответственно.

Таблица 1
Характеристика исследуемых ГБНК

Каучук (марка)	Содержание АН, %	Содержание ОДС, %
Therban C3446	34	4,0
Therban AT 5065 VP	49	6,0
Therban AT 5005 VP	49	0,9
БНК-В-4030	38	3,0

Выбор данных каучуков экспериментально обоснован: присоединение макромолекул полностью насыщенного Therban AT 5005 VP к частично насыщенному Therban AT 5065 VP в различных соотношениях изменит конформации молекулярных цепей, позволит из набора конформационных форм выявить наиболее предпочтительную и вычислить значения E_{sc} и T_g для получения резин с улучшенными свойствами.

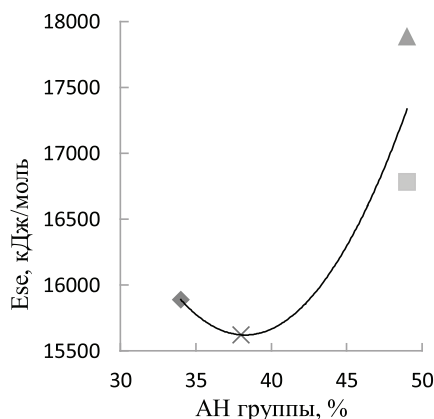


Рис. 1. Зависимость E_{sc} от содержания АН при 423 К

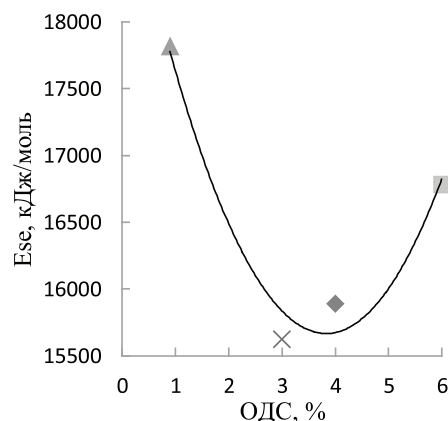


Рис. 2. Зависимость E_{sc} от содержания ОДС при 423 К

На первом этапе моделирования рассчитана энергия конформации ГБНК, отличающихся содержанием АН и ОДС (табл. 1), при температуре 423 К. Такой подход к энергии позволит понять ее чрезвычайную чувствительность как к структуре самой макромолекулы каучука, так и к ее окружению (температура, фазовое состояние и т.д.). Результаты расчетов E_{sc} проиллюстрированы энергетическими кривыми на рис. 1 и 2. Можно предположить, что увеличение доли акрилонитрила в ряду Therban С3446, БНК-В-4030, Therban АТ 5065 VP и Therban АТ 5005 VP способствует усилению межмолекулярного взаимодействия, которое затрудняет возможные конформационные превращения звеньев, повышая E_{sc} (рис. 1). Зависимость E_{sc} от содержания ОДС выражена ниспадающей кривой с минимумом, соответствующим 3,0% (рис. 2).

Резкое снижение E_{sc} обусловлено увеличением скорости свободного вращения звеньев в макромолекулах Therban С3446 и БНК-В-4030, содержащих в основной цепи наряду с одинарными двойные С=С связи [12] (ОДС = 3,0 и 4,0% против 0,9% у Therban АТ 5005 VP). Известно, что атомы углерода, расположенные по соседству с двойной связью, легче вращаются вокруг собственной оси, снижая потенциальный барьер вращения [5] и, как следствие, энергию конформации. Восхождение правой ветви кривой для Therban АТ 5065 VP можно объяснить преобладающим влиянием на E_{sc} полярных групп (АН = 49%) над ОДС.

Для детального изучения структуры ГБНК методом молекулярного моделирования рассчитана E_{sc} смесей Therban АТ 5065 VP и Therban АТ 5005 VP в зависимости от

соотношения звеньев в макромолекулах. Результаты расчетов E_{sc} в диапазоне температур от 0 до 423 К представлены в табл. 2. В таблицу включена T_g ГБНК, определенная экспериментальным путем с помощью дифференциального сканирующего калориметра DSK 204F1 Phoenix фирмы NETZSCH.

Из табл. 2 видно, что величина E_{sc} исходных каучуков и их смесей монотонно возрастает с повышением температуры в результате увеличения интенсивности теплового движения звеньев, повышающего подвижность макромолекул. По мере присоединения к частично насыщенному Therban АТ 5065 VP макромолекул полностью насыщенного Therban АТ 5005 VP происходит конформационная перестройка цепи. Можно констатировать, что в процессе моделирования структуры смесей каучуков выявлена прямолинейная обратная зависимость E_{sc} от степени насыщенности: чем меньше ОДС, тем больше значение E_{sc} (рис. 3).

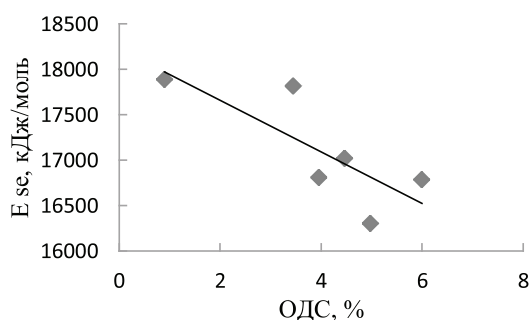


Рис. 3. Зависимость E_{sc} от ОДС Therban АТ 5065 VP, Therban АТ 5005 VP и их смесей

Таблица 2

 E_{se} и T_g Therban AT 5065 VP, Therban AT 5005 VP и их смесей

Температура, К	Therban AT5065VP ОДС = 6,0	Therban AT5005VP ОДС = 0,9	Соотношение Therban AT5065VP:Therban AT5005VP			
			80:20 ОДС = 4,98	70:30 ОДС = 4,47	60:40 ОДС = 3,96	50:50 ОДС = 3,45
			E_{se} , кДж/моль			
0	2972	3207	2905	3015	3113	3139
353	13848	15638	15176	14467	14155	15322
398	15725	16609	15964	16657	16225	16400
423	16784	17885	16298	17020	16804	17816
T_g , °C	-16,6	-17,8	-14,9	-15,1	-15,4	-15,2

Для исследования влияния структуры ГБНК на процесс стеклования, при котором каучук теряет способность к конформационным превращениям, определена T_g Therban AT 5065 VP, Therban AT 5005 VP и их смесей. В исходных каучуках зафиксирована самая низкая T_g : минус 16,6 °C и минус 17,8 °C соответственно. В смесях каучуков добавление Therban AT 5005 VP к Therban AT 5065 VP сдвигает стеклование в более низкотемпературную область, при этом смесь каучуков в соотношении 60:40 сохраняет эластические свойства при более низкой температуре (минус 15,4 °C).

Изучение взаимосвязи между структурой ГБНК и его функциональными свойствами – стойкостью к термическому старению на воздухе и прониканию углеводородных сред – на основе анализа их пространственного строения представляет определенный интерес с практической точки зрения. Оно нацелено на возможность предсказания наиболее оптимальных комбинаций ГБНК либо марки ГБНК еще на стадии создания базового рецепта резиновой смеси. Рассчитав методом молекулярного моделирования значение E_{se} , можно построить зависимость «свойство – E_{se} », сопоставить данные о том, какой структуре каучука или смеси каучуков соответствует наилучший комплекс свойств вулканизатов.

Для проведения эксперимента изготавливали резиновые смеси на основе Therban AT 5065 VP, Therban AT 5005 VP и их смесей, взятых в соотношениях 80:20, 70:30, 60:40, 50:50. Использовали двухстадийный режим смешения в лабораторном резиносмесителе типа РС 4,5/20-140 с объемом смесительной камеры 2,5 дм³. Вулканизацию образцов резиновых смесей осуществляли в лабораторном гидравлическом прессе ПКМВ-160 при температуре 160 °C. Изменение стойкости резин к воздействию жидких агрессивных сред и к термическому старению на воздухе определяли по стандартным методикам.

Исследовали сохранение эластичности резин по величине относительного удлинения (ϵ_p) – наиболее характерного показателя старения – при ускоренном старении на воздухе и в масле при температуре 150 °C в течение 35 суток [13]. Изучали зависимость относительного удлинения резин от количества остаточных двойных связей в исходных каучуках и их смесях. Ход кривых, характеризующих динамику изменения ϵ_p от ОДС (табл. 2), представлен на рис. 4, 5.

Установлено, что с ростом ОДС и времени экспозиции на воздухе и в масле ϵ_p монотонно снижается. Самыми устойчивыми в обоих случаях являются вулканизаты на основе Therban AT 5005 VP (ОДС = 0,9%), менее устойчивы вулканизаты на основе Therban AT 5065 VP (ОДС = 6,0%). Изменение ϵ_p резин при использовании смесей каучуков происходит менее интенсивно, ОДС смесей занимает на кривых промежуточное положение, т.е. потеря эластичности у смесевых резин происходит позднее. Сопоставив данные рис. 4 и 5 с рис. 3, можно заключить: чем меньше ОДС, тем больше E_{se} и ϵ_p , т.е. выше эластические свойства резин в процессе длительной эксплуатации.

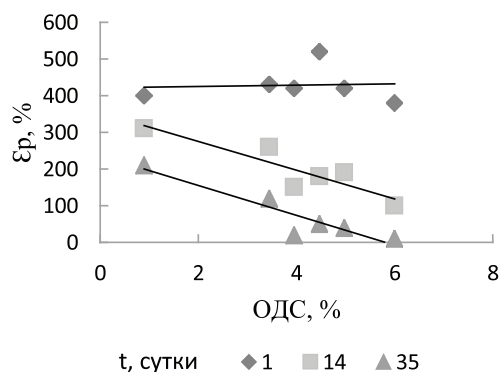


Рис. 4. Зависимость ϵ_p от ОДС при старении на воздухе при 423 К

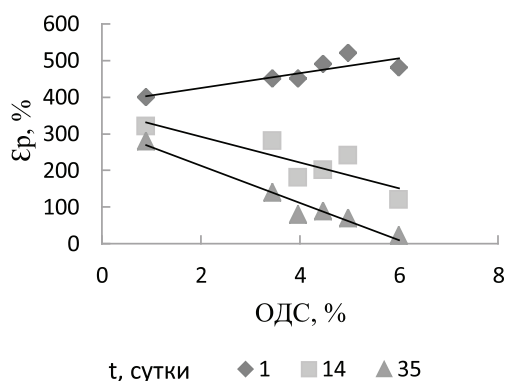


Рис. 5. Зависимость ϵ_p от ОДС при старении в масле при 423 К

На основании вышеизложенного можно сделать следующий вывод: конформационная перестройка макромолекул ГБНК путем присоединения к частично насыщенному Therban AT 5065 VP макромолекул полностью насыщенного Therban AT 5005 VP создает предпосылки для получения резин с улучшенным комплексом свойств. Следствием этих процессов можно считать препятствие прониканию молекул газа (воздуха) и углеводородных сред (масла) в резину, что позволит увеличить эластичность резин в заданных условиях эксплуатации. Обобщив результаты исследований, можно заключить, что по значению E_{se} возможно прогнозировать барьерные свойства резин на основе ГБНК: чем выше будет значение

E_{se} , тем ожидается меньшая скорость проникания воздуха и углеводородных сред в резину.

Список литературы

1. Бартенев Г.М. Курс физики полимеров / Г.М. Бартенев, Ю.В. Зеленов; под ред. проф. С.Я. Френкеля. — Л.: Химия, 1976. — 288 с.
2. Сутягин В.М. Химия и физика полимеров / В.М. Сутягин, Л.И. Бондалетова. — Томск: ТПУ, 2003. — 208 с.
3. Бакстон Шейл Р. Введение в стереохимию органических соединений / Шейл Р. Бакстон, Стэнли М. Робертс. — М.: Мир, 2005. — 312 с.
4. Дядченко В.П. Введение в стереохимию / В.П. Дядченко. — М.: МГУ, 1994. — С. 74.
5. Тагер А.А. Физико-химия полимеров / А.А. Тагер. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Научный мир, 2007. — 576 с.
6. Сайт разработчика [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.cambridgesoft.com/software/chembiooffice> (дата обращения 10.02.17).
7. Дмитриев Д.И. Моделирование молекулярных структур нефтяных смол и асфальтенов и расчет их термодинамической устойчивости / Д.И. Дмитриев, А.К. Головки // Химия в интересах устойчивого развития. — 2010. — № 10. — С. 177–187.
8. Tersoff J. Modeling solid-state chemistry: Interatomic potentials for multicomponent systems // Phys. Rev. B. — 1989. — Vol. 39, № 8. — P. 5566–5568.
9. Stuart S.J., Tutein A.B., Harrison J.A. A reactive potential for hydrocarbons with intermolecular interactions // J. Chem. Phys. — 2000. — Vol. 112, № 14. — P. 6472–6486.
10. Шилов М.А. Компьютерное моделирование молекулярных систем методом молекулярной динамики / М.А. Шилов, В.В. Веселов. — Иваново: ИГТА, 2010. — 168 с.
11. Глухова О.Е. Теоретические методы исследования наноструктур / О.Е. Глухова [и др.] // Вестник СамГУ. — 2012. — № 9. — С. 111–114.
12. Кирпичников П.А. Химия и технология синтетического каучука / П.А. Кирпичников, Л.А. Аверко-Антонович, Ю.О. Аверко-Антонович. — 2-е изд., перераб. — Л.: Химия, 1975. — 480 с.
13. Khorova E.A., Razdyakonova G.I., Khodakova S.Ya. Effect of the structure of hydrogenated butadiene-nitrile rubber on the resistance to aggressive media and high temperatures // Procedia Engineering. — 2016. — Vol. 152. — P. 556–562.

УДК 633.62:57.04:631.559.2

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ СОРГО

Алабушев А.В., Ковтунова Н.А., Ромانيюкин А.Е., Горпиниченко С.И., Ермолина Г.М.*ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Зерноград, e-mail: n-beseda@mail.ru*

Сорго сахарное – одна из основных кормовых культур в засушливых регионах России. Формирование урожайности – сложный процесс, на который оказывают влияние различные факторы. Продуктивность – комплексный показатель, уровень которого зависит от вклада отдельных количественных признаков. Компонентный анализ продуктивности позволяет дать полную информацию о влиянии каждого признака. Цель данной работы – определение основных факторов, влияющих на урожайность и качество зеленой массы, а также оценка стабильности и изменчивости основных хозяйственно-ценных показателей. Исследования проводились в 2010–2016 гг. Объектом исследований являлись 9 сортов сорго сахарного, созданных в АНЦ «Донской». Дисперсионный анализ показал, что урожайность зеленой массы сорго сахарного на 45,1% определяется сортовыми особенностями, на 30,3% – погодными условиями; сбор абсолютно сухого вещества, наоборот, больше зависит от года исследования (45,7%), чем от сорта (13,0%), и от их взаимодействия (35,1%). Было изучено влияние на урожайность климатических условий, а именно температуры воздуха и количества осадков. Существенное влияние на формирование урожайности зеленой массы оказывает среднесуточная температура в августе ($-0,58 \pm 0,08$) и количество осадков в июле ($0,59 \pm 0,07$). Урожайность абсолютно сухого вещества имеет отрицательную корреляцию со среднесуточной температурой за период всей вегетации, выпадение осадков приводит к увеличению данного показателя. Для формирования максимальной урожайности зеленой массы и абсолютно сухого вещества метеоусловия по месяцам немного различаются, однако в целом по вегетации, для получения высокой продуктивности и качества требуется среднесуточная температура воздуха $20,5\text{--}22,0^\circ\text{C}$ и осадков более 240 мм. Анализ взаимосвязи урожайности с ее компонентами позволил выделить маркерные признаки высокой урожайности зеленой массы – это высота растений ($r = 0,62 \pm 0,05$) и длина листа ($r = 0,52 \pm 0,12$). В АНЦ «Донской» созданы сорта сорго сахарного с высокой урожайностью зеленой массы и абсолютно сухого вещества.

Ключевые слова: сорго сахарное, урожайность, зеленая масса, абсолютно сухое вещество, метеоусловия, дисперсионный анализ, корреляционно-регрессионный анализ.

THE PRINCIPAL FACTORS OF IMPROVEMENT OF PRODUCTIVITY AND QUALITY OF SORGHUM SACCHARATUM GREEN MASS

Alabushev A.V., Kovtunova N.A., Romanyukin A.E., Gorpinichenko S.I., Ermolina G.M.*Federal State Budgetary Scientific Institution Agricultural Research Center «Donskoy», Zernograd, e-mail: n-beseda@mail.ru*

Sweet sorghum is one of the main forage crops in the arid regions of Russia. The formation of yield is a very difficult process which is affected by various factors. Productivity is a complex characteristic, the level of which depends on the contribution of individual quantitative traits. The component analysis of productivity allows giving full information about influence of each trait. The purpose of the work is to determine principal factors having an effect on productivity and quality of green chop, as well as to assess stability and changeability of the main economically valuable traits. The study was carried out in the years of 2010–2016. The objects of the study were 9 varieties of sweet sorghum developed in ARC 'Donskoy'. The variance analysis showed that the productivity of green chop of sweet sorghum depends on varietal traits on 45.1%, on weather on 30.3%; the yield of absolutely dry matter is more dependent on the year of research (45.7%), than on variety (13.0%) and their interaction (35.1%). There has been studied the effect of climatic conditions on productivity, namely air temperature and amount of precipitation. The average daily temperature in August ($-0,58 \pm 0,08$) and amount of precipitation in July ($0,59 \pm 0,07$) have a significant effect on formation of productivity of green chop. The productivity of absolutely dry matter has got negative correlation with the average daily temperature during vegetation, precipitation increases this trait. For the formation of maximum productivity of green chop and absolutely dry matter, the meteorological conditions differ through the months, but in general during vegetation period the average daily temperature of $20,5\text{--}22,0^\circ\text{C}$ and more than 240 mm of precipitation are enough for high productivity and quality. The analysis of interconnection between productivity and its component allowed establishing marker traits of high productivity of green chop, i.e. plant height ($r = 0,62 \pm 0,05$) and length of leaf ($r = 0,52 \pm 0,12$). The ARC 'Donskoy' developed the sweet sorghum varieties with high productivity of green chop and absolutely dry matter.

Keywords: sweet sorghum, productivity, green chop, absolutely dry matter, meteorological conditions, variance analysis, correlation and regression analysis

Сорго сахарное (*Sorghum saccharatum*) – одна из основных кормовых культур в засушливых регионах России. Ее засухоустойчивость определяется анатомическими и морфологическими свойствами, такими как строение устьиц, восковой налет на

листьях и стеблях, мощная корневая система, способность приостанавливать рост при длительном отсутствии влаги, а при улучшении водного режима – продолжать его [1–3]. Еще одним достоинством сорго является солевыносливость. Корни обходят

очаги скопления солей и развиваются в менее засоленной почве – это является приспособительным свойством растений к засолению.

В 100 кг зеленой массы сорго сахарного содержится 24–25 кормовых единиц (к.е.) и 0,6 кг переваримого протеина, коэффициент переваримости составляет 72,7%; силоса – 22–23 к.е., 0,6 кг переваримого протеина, переваримость – 66,8% [4, 5]. Отличительная особенность сорго сахарного – высокое содержание сахаров в соке стеблей и сочность стеблей и листьев даже в фазе полной спелости зерна. Лучший силос по качеству получается при силосовании сорго с бобовыми растениями, однако его можно силосовать с пожнивными остатками, соломой и т.д.

Согласно исследованиям Г.С. Голубевой, в засушливых условиях степной зоны сорго на 35–40% продуктивнее кукурузы, хотя в оптимальных условиях ее урожайность выше [6]. Формирование урожайности – сложный процесс, на который оказывают влияние различные факторы, в том числе климатические [7–9]. Согласно закону равнозначности и незаменимости факторов все процессы жизнедеятельности в растении активно проходят при оптимальных значениях факторов внешней среды. В связи с участвовавшими засухами в летний период и значительными изменениями климатических характеристик вопросы влияния климата на урожайность приобретают особую актуальность [10–12].

Не следует забывать, что урожайность – комплексный показатель, уровень которого зависит от вклада отдельных количественных признаков. Поэтому трудно получить существенный селекционный результат за счет улучшения какого-либо одного свойства. Компонентный анализ урожайности позволяет дать полную информацию о влиянии каждого признака [13, 14].

Цель данной работы – определение основных факторов, влияющих на урожайность и качество зеленой массы сорго сахарного, а также оценка стабильности и изменчивости основных хозяйственно ценных показателей.

Научная новизна – на основе дисперсионного анализа выявлена зависимость урожайности и качества зеленой массы от основных факторов: условий возделывания, сортового состава и их взаимодействия. В результате корреляционно-регрессионного анализа определены оптимальные мете-

орологические условия для получения максимального урожая; выделены маркерные признаки высокой урожайности и качества зеленой массы; оценено варьирование основных хозяйственно ценных признаков у новых сортов сорго сахарного зерноградской селекции.

Материалы и методы исследования

Объект исследований: 9 сортов сорго сахарного, созданных в АНЦ «Донской». В качестве стандарта использовался сорт Зерноградский янтарь.

Исследования проводились в 2010–2016 гг. в АНЦ «Донской» в г. Зернограде Ростовской области (зона неустойчивого увлажнения). Гидротермический коэффициент Селянинова за период вегетации сорго варьировал от 0,64 (2012 г.) до 0,97 (2016 г.), при этом в 2012, 2013, 2014 гг. наблюдалась средняя засуха, в остальные годы – отсутствие засухи.

Подготовка почвы, посев, уход за посевами, уборка проводились в соответствии с методикой государственного испытания и рекомендациями по возделыванию сорго сахарного [15]. Математическую обработку, корреляционный и регрессионный анализы проводили с использованием программы Statistica10, дисперсионный анализ – по методике Б.А. Доспехова [16].

Результаты исследования и их обсуждение

Для ведения селекционной работы на урожайность и качество необходимо выявить основные факторы, оказывающие наибольшее влияние на них. Проведен дисперсионный анализ, в котором изучено влияние на урожайность зеленой массы и абсолютно сухого вещества двух факторов: сорт (фактор А), год исследований (фактор В), на примере сортов сорго сахарного (табл. 1).

Разложение дисперсии S на частные дисперсии $C_p, C_A, C_B, C_{AB}, C_z$, которые характеризуют варьирование признака под влиянием каждого фактора и их взаимодействия, позволяет определить значимость их воздействия. Данный анализ показал, что урожайность зеленой массы сорго сахарного на 45,1% определяется сортовыми особенностями, на 30,3% – погодными условиями; сбор абсолютно сухого вещества, наоборот, больше зависит от года исследования (45,7%), чем от сорта (13,0%), и от их взаимодействия (35,1%). Доля случайных факторов для обоих показателей незначительна – 6,1–6,8%.

В ходе корреляционно-регрессионного анализа было изучено влияние на урожайность климатических условий, а именно температуры воздуха и количества осадков. Ранее было установлено, что урожайность зеленой массы и зерна находятся в тесной положительной связи с количеством осадков. При увеличении осадков на 1 мм за вегетацию сорго урожайность зеленой массы увеличивается на 0,05 т/га, урожайность зерна – на 0,01 т/га. Увеличение суммы температур за период «май сентябрь» на 1 °С приводит к уменьшению продолжительности вегетационного периода на 0,04 дня [11].

Существенное влияние на формирование урожайности зеленой массы оказывает среднесуточная температура в августе ($-0,58 \pm 0,08$) и количество осадков в июле

($0,59 \pm 0,07$). Урожайность зерна имеет среднюю корреляцию со среднесуточной температурой июля ($-0,46 \pm 0,02$) и августа ($-0,57 \pm 0,08$). Урожайность абсолютно сухого вещества имеет отрицательную корреляцию со среднесуточной температурой за период всей вегетации, выпадение осадков, наоборот, приводит к увеличению данного показателя. Так, выпадение 1 мм осадков в июле сопровождается повышением урожайности абсолютно сухого вещества на 0,17 т/га.

Анализ графиков зависимости урожайности зеленой массы от среднесуточной температуры и количества осадков по месяцам позволил выявить оптимальные параметры для формирования максимальной продуктивности и качества зеленой массы сортов сорго сахарного (табл. 2).

Таблица 1

Влияние различных факторов на урожайность зеленой массы и абсолютно сухого вещества сорго сахарного

Фактор	Урожайность зеленой массы		Урожайность абсолютно сухого вещества	
	Значение дисперсии	Доля фактора, %	Значение дисперсии	Доля фактора, %
C (общая дисперсии)	1901,6	100	722,6	100
C _p – влияние повторений	1,1	0,1	0,9	0,1
C _A – влияние фактора А	858,4	45,1	94,2	13,0
C _B – влияние фактора В	576,3	30,3	330,2	45,7
C _{AB} – совместное влияние А и В	336,9	17,7	253,4	35,1
C _z – влияние других факторов	128,4	6,8	43,8	6,1

Примечание: фактор А – сорт; фактор В – год исследований.

Таблица 2

Метеорологические параметры для формирования максимальной и минимальной урожайности зеленой массы и абсолютно сухого вещества сорго сахарного (2010–2016 гг.)

Месяц	Параметры	Урожайность зеленой массы		Урожайность абсолютно сухого вещества	
		max	min	max	min
Май	Среднесуточная температура, °С	21–22	16–20	21–22	18–20
	Осадки за месяц, мм	100–140	20–60 120–160	20–60 80–100	более 100
Июнь	Среднесуточная температура, °С	23,5–24,5	20–21	24,0–24,5	20–22
	Осадки за месяц, мм	более 140	60–100	более 100	более 140
Июль	Среднесуточная температура, °С	22–24	26–27	21–23	26–27
	Осадки за месяц, мм	50–60	не влияют	55–60	не влияют
Август	Среднесуточная температура, °С	24–28	27–28	21–23	25–27
	Осадки за месяц, мм	50–70	менее 50 мм	60–70	менее 60
Сентябрь		не влияют			
Вся вегетация	Среднесуточная температура, °С	20,5–22,5	–	20,5–22,0	–
	Осадки за месяц, мм	более 240	–	более 250	–

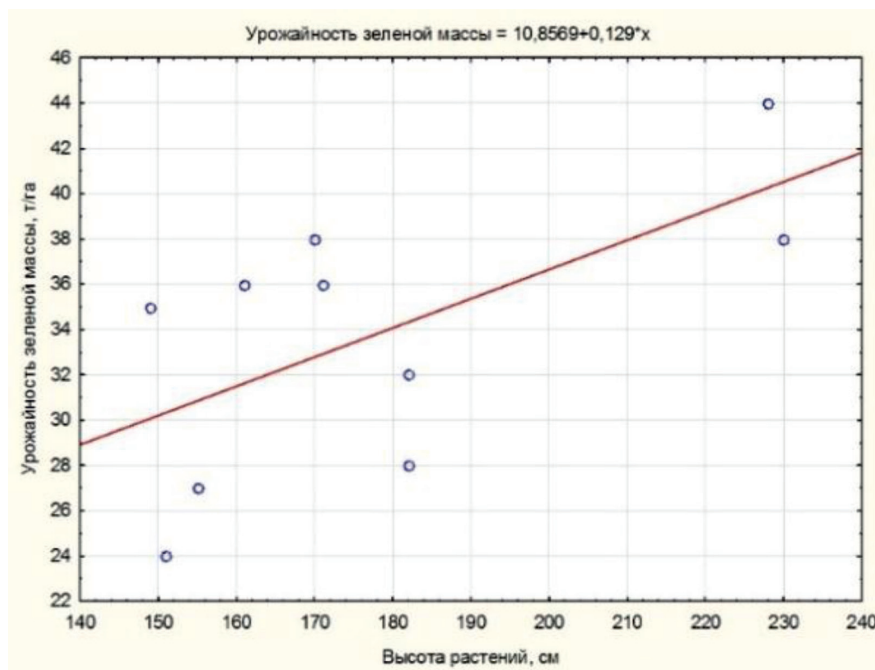


Рис. 1. Зависимость урожайности зеленой массы сорго сахарного от высоты растений

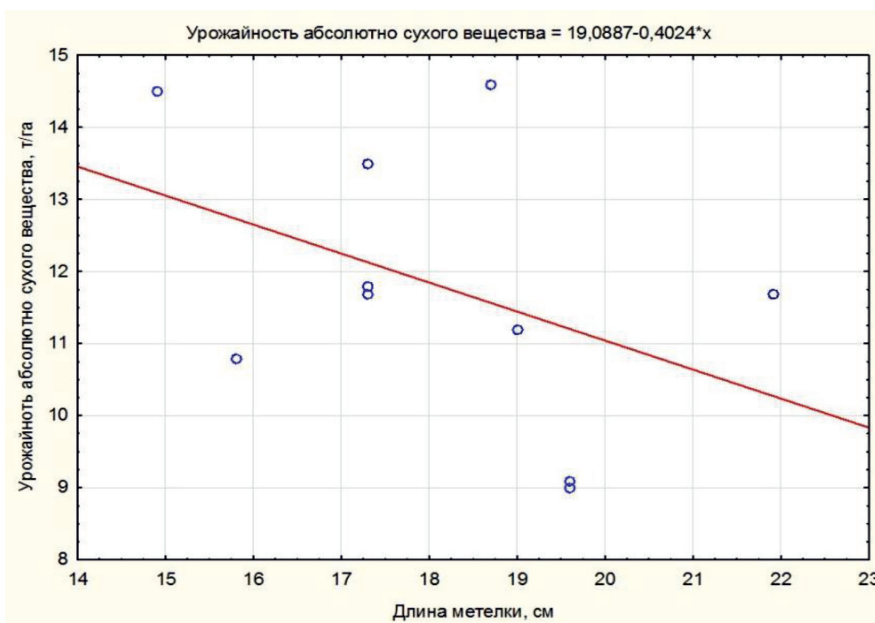


Рис. 2. Зависимость урожайности абсолютно сухого вещества сорго сахарного от длины метелки

Из табл. 2 видно, что для формирования максимальной урожайности зеленой массы и абсолютно-сухого вещества, метеоусловия по месяцам немного различаются, однако в целом по вегетации, для получения высокой продуктивности и качества требу-

ется среднесуточная температура воздуха 20,5–22,0 °С и осадков более 240 мм.

Анализ взаимосвязи урожайности с ее компонентами позволяет выделить маркерные признаки, которые на ранних этапах развития, без уборки и взвешивания

помогут выбирать высокоурожайные образцы. Зеленая масса на силос сорго сахарного убирается в фазе молочно-восковой спелости и состоит из стеблей, листьев и метелок. По результатам исследований средняя положительная связь урожайности зеленой массы выявлена с высотой растений ($0,62 \pm 0,05$) и длиной листа ($0,52 \pm 0,12$). При увеличении значений этих признаков на единицу измерения урожайность зеленой массы увеличивается на 0,13 и 0,4 т/га соответственно (рис. 1). Таким образом, данные показатели являются маркерными при селекции на высокую урожайность зеленой массы сорго сахарного.

Урожайность зерна имеет среднюю корреляцию с шириной метелки ($0,59 \pm 0,13$), при ее увеличении на 1 см урожайность зерна выше на 0,2 т/га. С остальными признаками существенной связи не выявлено. Урожайность абсолютно сухого вещества и переваримого протеина определяет качество зеленой массы. По фенотипу высокое качество зеленой массы выявить практически невозможно. В наших исследованиях наблюдалась средняя отрицательная корреляция урожайности абсолютно сухого вещества с длиной метелки ($-0,53 \pm 0,12$), ее увеличение на 1 см – снижает сбор сухого вещества на 0,4 т/га (рис. 2).

В АНЦ «Донской» созданы сорта сорго сахарного с высокой урожайностью зеленой массы и абсолютно сухого вещества (табл. 3).

Представленные сорта имеют продолжительность периода «всходы – молоч-

но-восковая спелость» в пределах 91–106 дней и относятся к среднеспелой группе созревания, кроме раннеспелого сорта Костер (86 дней). По урожайности зеленой массы 6 сортов со значениями 40–43 т/га существенно превосходят стандарт Зерноградский янтарь, по урожайности абсолютно сухого вещества превышение отмечено у 5 сортов (13,5–14,8 т/га), по сбору переваримого протеина – у 3 сортов (Лиственит, Зерноградское 454, Янтарное 41).

По урожайности зеленой массы у 6 из 9 сортов отмечена низкая изменчивость по годам (5,1–9,0%), что говорит о их высокой стабильности. Сорта ЗСР-441, Север 44, Янтарное 41 имели среднюю изменчивость (10,8–11,5%). Варьирование по сортам было слабым – в 2012, 2014 и 2015 гг. и средним – в 2013, 2016 гг., что говорит о незначительной разнице между сортами к внешним условиям. По урожайности абсолютно сухого вещества показатели изменчивости были значительно выше. Только 2 сорта (Зерноградское 32 и Дебют) имели слабое варьирование по годам (9,6–9,9%), 6 сортов – среднее. Сорт Костер отличается высокой зависимостью от внешних условий и имеет коэффициент варьирования по годам 26,8%. По урожайности зерна и переваримого протеина наблюдалась средняя и сильная изменчивость как по годам, так и по сортам. Из рассмотренных хозяйственно-ценных показателей изученные сорта проявили наибольшую стабильность по урожайности зеленой массы и продолжительности вегетационного периода.

Таблица 3

Характеристика новых сортов сорго сахарного (2010–2016 гг.)

Сорт	Урожайность, т/га								Период «всходы – молочно-восковая спелость», дни	
	зеленой массы		зерна		абсолютно су- хого вещества		переваримого протеина			
	среднее	Cv,%	среднее	Cv,%	среднее	Cv,%	среднее	Cv,%	среднее	Cv,%
Зерноградский янтарь, ст.	36	6,8	2,3	27,6	12,0	12,2	0,55	14,2	92	11,0
Дебют	35	5,1	2,2	23,3	12,7	9,9	0,59	23,7	91	8,8
Костер	35	8,8	1,9	20,7	13,1	26,8	0,59	36,9	86	8,0
Лиственит	42	8,2	2,6	22,5	14,0	17,9	0,66	23,9	102	10,4
Зерноградское 454	40	9,0	2,5	27,6	14,6	13,0	0,71	20,1	95	13,7
Север 44	41	10,8	2,7	23,4	14,8	15,9	0,57	31,3	100	9,9
ЗСР-441	43	11,0	2,7	25,8	14,0	18,8	0,61	6,0	97	11,7
Янтарное 41	42	11,5	2,6	27,3	13,4	21,1	0,72	32,7	106	9,0
Зерноградское 32	41	6,3	2,7	21,5	13,5	9,6	0,54	30,8	106	9,9
среднее	40	–	2,5	–	2,5	13,6	0,61	–	96	–
Sx	4		0,3	–	1,5	1,5	0,11	–	6	–
Cv по годам, %	20,8	–	25,5	–	16,1	16,1	24,4	–	10,0	–

Выводы

1. Урожайность зеленой массы сорго сахарного на 45,1% определяется сортовыми особенностями, на 30,3% – погодными условиями; сбор абсолютно сухого вещества, наоборот, больше зависит от года исследования (45,7%), чем от сорта (13,0%), и от их взаимодействия (35,1%). Доля случайных факторов для обоих показателей незначительна – 6,1–6,8%.

2. На формирование урожайности зеленой массы наибольшее влияние оказывает среднесуточная температура в августе ($-0,58 \pm 0,08$) и количество осадков в июле ($0,59 \pm 0,07$). Урожайность абсолютно сухого вещества имеет отрицательную корреляцию со среднесуточной температурой за период всей вегетации, выпадение осадков приводит к увеличению данного показателя.

3. Для формирования максимальной урожайности зеленой массы и абсолютно сухого вещества метеоусловия по месяцам немного различаются, однако в целом по вегетации, для получения высокой продуктивности и качества требуется среднесуточная температура воздуха $20,5\text{--}22,0^\circ\text{C}$ и осадков более 240 мм.

4. Маркерными признаками при селекции на высокую урожайность зеленой массы сорго сахарного является высота растений ($r = 0,62 \pm 0,05$) и длина листа ($r = 0,52 \pm 0,12$).

5. Среди изученных сортов сахарного сорго наибольшая стабильность наблюдалась по урожайности зеленой массы и продолжительности вегетационного периода.

6. По урожайности зеленой массы (40–43 т/га) существенно превосходят стандарт Черноградский янтарь следующие сорта: Лиственит, Черноградское 454, Север 44, Янтарное 41, Черноградское 32, ЗСр-441.

Список литературы

1. Семеноводство сорго зернового в Ростовской области / А.В. Алабушев [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2016. – № 1. – С. 12–15.
2. Ионова Е.В. Проводящая система транспорта воды и ассимилятов растений сорго зернового / Е.В. Ионова,

А.В. Алабушев // Зерновое хозяйство России. – 2009. – № 2. – С. 36–42.

3. Ковтунова Н.А. Биологические особенности роста и развития суданской травы / Н.А. Ковтунова // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 6. – С. 48–51.

4. Агроэнергетическая эффективность возделывания новых сортов и гибридов сорго сахарного / Г.В. Метлина [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 114. – С. 288–297.

5. Володин А.Б. Потенциальные возможности сахарного сорго / А.Б. Володин, М.П. Жукова // Кормопроизводство. – 2002. – № 4. – С. 11–15.

6. Голубева Г.С. Достижения в технологии возделывания сорго/ Г.С. Голубева. – М.: ВНИИТИСХ, 1983. – 42 с.

7. Влияние метеоусловий года, условий посева сорго на развитие полосатой пятнистости (*Pseudomonas andropogoni*) в условиях лесостепи Самарской области / Матвиенко Е.В. [и др.] // Успехи современной науки. – 2015. – № 3. – С. 36–38.

8. Новые направления селекции стрессоустойчивых сортов: Научное обеспечение производства сельскохозяйственных культур в современных условиях / П.И. Костылев [и др.]. Международная научно-практическая конференция. – Краснодар, 2016. – С. 106–112.

9. Дубинина О.А. Устойчивость озимой пшеницы к основным стрессовым факторам окружающей среды и погодных условий (обзор) / О.А. Дубинина // Зерновое хозяйство России. – 2017. – № 1 (49). – С. 23–26.

10. Васильченко С.А. Влияние метеоусловий на продуктивность сорго зернового в южной зоне Ростовской области / С.А. Васильченко, Г.В. Метлина, В.В. Ковтунов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 120. – С. 744–754.

11. Ковтунова Н.А. Влияние метеоусловий на основные хозяйственно-ценные признаки сорго сахарного / Н.А. Ковтунова, Г.М. Ермолина, Е.А. Шишова // Зерновое хозяйство России. – 2013. – № 1(25). – С. 31–34.

12. Ковтунова Н.А. Влияние метеорологических условий на урожайность и качество зеленой массы суданской травы / Н.А. Ковтунова, В.В. Ковтунов, Е.А. Шишова // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 3. – С. 39–41.

13. Некрасова О.А. Изучение типов наследования массы 1000 зерен у гибридов F₂ мягкой озимой пшеницы / О.А. Некрасова, П.И. Костылев, Е.И. Некрасов // Зерновое хозяйство России. – 2017. – № 1 (49). – С. 23–26.

14. Проблемы и результаты по селекции сорго зернового / Н.А. Беседа [и др.] // Зерновое хозяйство России. – 2010. – № 6. – С. 49–51.

15. Рекомендации по возделыванию сорго сахарного / С.И. Горпиниченко, Н.А. Ковтунова, Г.М. Ермолина, В.В. Ковтунов, О.Д. Шарова. – Ростов н/Д: ЗАО «Книга», 2013. – 24 с.

16. Доспехов Б.А. Методы полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для высших сельскохозяйственных учебных заведений. – М.: Альянс, 2014. – 351 с.

УДК 630*831: 58.01/.07

**ПРОБЛЕМА СОХРАНЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ
И ЕЕ РЕШЕНИЕ ПРИ ЗАГОТОВКЕ ДРЕВЕСИНЫ****Залесова Е.С., Залесов С.В., Залесов В.Н., Оплетев А.С., Шубин Д.А.***ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург,
e-mail: Zalesov@usfeu.ru*

Важнейшей задачей научно обоснованного лесопользования является сохранение биологического разнообразия. Последнее особенно важно при заготовке древесины, когда после проведения сплошнолесосечных рубок кардинально изменяются лесорастительные условия на вырубке. С целью минимизации отрицательных последствий проведения лесосечных работ и сохранения биологического разнообразия предлагается перейти на заготовку древесины выборочными рубками, отказавшись от сплошных широколесосечных и концентрированных рубок. В процессе отвода лесосек рекомендуется выделять ключевые элементы древостоя и ключевые биотопы, т.е. объекты с максимальным количеством биологических видов. В качестве ключевых элементов древостоя выделяются старовозрастные деревья; деревья редких видов, произрастающие на границе естественного ареала; деревья с гнездами или дуплами; единичные сухостойные деревья и высокие пни, а также крупный валеж. К ключевым биотопам относятся небольшие заболоченные понижения; участки леса вдоль временных водотоков, вокруг родников, мест обитания редких видов животных и растений, по окраинам болот, опушек леса, а также на каменистых россыпях, скальных обнажениях и карстовых образованиях, окнах естественного возобновления и др. Вокруг указанных объектов при проведении сплошнолесосечных и чересполосных постепенных рубок рекомендуется выделение буферных зон, ширина которых зависит от вида ключевого элемента древостоя. Буферная зона должна обеспечивать сохранность указанных объектов и выполнение ими задач по сохранению биологического разнообразия. Ключевые элементы древостоя и буферные зоны вокруг них выделяются при отводе лесосек и наносятся на технологические карты их разработки.

Ключевые слова: заготовка древесины, биологическое разнообразие, выборочные рубки, ключевой биотоп, ключевой элемент древостоя

**ON THE PROBLEM OF BIODIVERSITY PRESERVING AND WAYS
OF ITS SOLUTION IN WOOD HARVESTING****Zalesova E.S., Zalesov S.V., Zalesov V.N., Opletaev A.S., Shubin D.A.***Ural State Forestry Engineering University, Ekaterinburg, e-mail: Zalesov@usfeu.ru*

The most important task of science – based forest management is the conservation of the biological diversity. The latter is particularly important in the harvesting of wood, where after the clear cuttings dramatically change forest conditions on cutting. To minimize the negative consequences of the logging operations and the conservation of biological diversity are invited to go to harvest timber by selective cutting by cutting shirokolistnyj and concentrated felling. In the process of allotment of cutting areas, it is recommended to highlight the key elements of tree stand and key habitats, i.e. the objects with the maximal number of species. As key elements of forest stand old-growth trees; trees of rare species growing on the border of the natural area; trees with nests or hollows; a single dead standing trees and high stumps, and large deadwood. Key biotypes are small swampy depressions; forest areas along temporary water courses, around springs, habitats of rare species of animals and plants along the edges of swamps, forest edges and in stony places, rocky outcrops and karst formations, Windows, natural regeneration, etc. Around these objects, when carrying out continuous deforestation and intermingled gradual felling it is recommended that the allocation of buffer zones, the width of which depends on a key element of the forest. A buffer zone should ensure the preservation of these assets and the implementation of the mandates for the conservation of biological diversity. Key elements of the forest and buffer-wide zone around them are at the cutting sites division and applied to the routing of their development.

Keywords: wood cutting, biodiversity, selective cutting, key biotope, key element of forest stand

При организации всех видов лесопользования основное внимание уделяется вопросам сохранения устойчивости биогеоценозов и их биологического разнообразия. Последнее обусловлено тем, что исчезновение любого биологического вида является невосполнимой утратой для природы и человечества. Особенно важно сохранить биологическое разнообразие при заготовке древесины. Известно [1–2], что уже многие десятилетия основной объем древесины на территории Российской Федерации заготов-

ляется в процессе сплошнолесосечных рубок. При этом даже действующими правилами [3] допускается площадь лесосек в 75 га. Удаление древостоя в процессе сплошнолесосечных рубок приводит к кардинальному изменению экологической обстановки и лесорастительных условий. На вырубках таежной зоны наблюдается заболачивание, а лесостепной – остепнение [4, 5]. Указанное обстоятельство создает стрессовую ситуацию для большинства биологических видов и, как следствие этого, опасность ис-

чезновения некоторых из них. Особенно опасно проведение сплошнолесосечных рубок для видов с ограниченным по площади ареалом, исчезающих и малочисленных, в том числе занесенных в Красную книгу Российской Федерации.

В последние годы декларативно заявляется необходимость сохранения биологического разнообразия в процессе лесопользования. Однако для большинства субъектов Российской Федерации рекомендации с указанием конкретных мероприятий по недопущению сокращения биологического разнообразия при заготовке древесины отсутствуют, а оставление на вырубке тех или иных объектов, обеспечивающих биологическое разнообразие, может повлечь за собой наложение штрафных санкций. Так, в частности, оставление валежной древесины, рекомендуемое природоохранными организациями, может вызвать штрафные санкции за неочистку лесосеки и повышение пожарной опасности. В то же время в скандинавских странах концепция ключевых биотопов внедрена в практику лесопользования еще в начале 1990 г. [6–8]. Вышеуказанные обстоятельства предопределили направление наших исследований.

Цель и методика исследований

Целью исследований являлось изучение возможностей сохранения биологического разнообразия в процессе проведения заготовки древесины и разработка на этой основе практических рекомендаций для лесопользователей.

В процессе исследований были использованы широко известные апробированные методики, применяемые в лесоведении, лесоводстве, лесной таксации и геоботанике [9–10].

Результаты исследования и их обсуждение

Объектами исследований служили вырубки и лесосеки, пройденные 2–7 лет назад выборочными рубками. Исследования показали, что первоочередной задачей при заготовке древесины с сохранением биологического разнообразия является замена широколесосечных и тем более концентрированных рубок на выборочные и сплошные узколесосечные. Планируя виды выборочных рубок с учетом таксационных показателей насаждений, можно минимизировать отрицательные последствия заготовки древесины и обеспечить мозаичность древостоя. Последняя будет способствовать

не только сохранению, но и увеличению биологического разнообразия.

Заготовку древесины целесообразно проводить в зимний период при промерзшем грунте или применять полуподвесную или подвесную технологию трелевки заготовленной древесины. Указанное будет способствовать минимизации повреждения почвы и нижних ярусов растительности, а также корневых систем оставляемой на доращивание части древостоя и подроста.

Особое внимание в процессе проведения лесосечных работ следует уделять сохранению наиболее важных с точки зрения сохранения биологического разнообразия, частей древостоя и участков. К последним относятся части древостоя (ключевые элементы древостоя) и небольшие участки леса, характеризующиеся наличием повышенного биологического разнообразия или редких видов растений, насекомых, животных и т.д. (ключевые биотопы) [11]. Сохранение в процессе проведения лесосечных работ ключевых элементов древостоя и ключевых биотопов создает на вырубке экологический каркас биологического разнообразия, способствует скорейшему лесовосстановлению и в конечном счете возвращению экосистемы в исходное состояние.

К ключевым элементам древостоя относятся деревья и мертвая древесина, имеющие особое значение для сохранения биологического разнообразия. В частности, к таковым относятся:

- старовозрастные деревья;
- деревья редких видов, произрастающие на границе их естественного ареала;
- деревья с гнездами и (или) дуплами;
- единичные сухостойные деревья, высокие пни, не представляющие опасности при разработке лесосеки;
- крупный валеж.

При выделении ключевых элементов древостоя следует учитывать региональную специфику, почвенные условия и уровень освоения лесов. Так, наличие значительной захламленности лесов позволяет в качестве ключевых элементов древостоя оставлять на вырубке (лесосеке) с крайне неустойчивым водным режимом (насаждения нагорного, лишайникового, брусничного и близких к ним типов леса) валеж, находящийся на IV стадии разложения (таблица).

На лесосеках (вырубках) с дренированными почвами с относительно неустойчивым и устойчивым водным режимом (насаждения ягодниковых, зеленомошных,

липняковых, кисличных и близких к ним типов леса) оставляется крупный валеж III и IV стадий разложения. В то же время на лесосеках (вырубках) с периодически и устойчиво переувлажненными почвами (насаждения приручьевых, долгомошных, мшисто-хвощевых, сфагновых, травяно-болотных и близких к ним типов леса) уборка захламленности проектируется только при наличии сбыта древесины деревьев I стадии разложения.

случае все работы по заготовке древесины, включая очистку мест рубок и вывозку древесины, должны быть закончены до весеннего прилета птиц.

Таким образом, вокруг деревьев с крупными гнездами (диаметром более 1 м) рубке не подлежат окружающие деревья в буферной зоне шириной (радиусом) 300 м при проведении сплошнолесосечных и чересполосных постепенных рубок. При проведении выборочных рубок в зимний период

Стадии разложения (деструкции) древесины

№ стадии	Характеристика древесины
I	Древесина крепкая, на ней присутствуют пятна отличного от цвета живой древесины, кора обычно присутствует
II	Древесина мягкая, волокна отщепляются, но в комок не скатываются, кора местами присутствует
III	Древесина мягкая, волокна легко отщепляются и легко скатываются в комок, коры обычно нет
IV	Древесина в виде трухи или остатков ядра ствола и ветвей

К крупному валежу относятся деревья диаметром более 30 см, которые являются необходимым субстратом для выживания уязвимых и требовательных к условиям среды видов растений, животных и грибов, местом гнездования птиц и зимовки некоторых амфибий и рептилий. Установление стадий разложения крупного валежа не только обеспечит его роль как ключевого элемента древостоя, но и не приведет к повышению пожарной опасности.

Общеизвестно, что крупные пернатые хищники, построив гнездо, неоднократно используют его для выведения птенцов. В то же время фактор беспокойства, т.е. появление людей вблизи гнезда или проведение каких-либо лесохозяйственных работ в период насиживания яиц или выкармливания птенцов, приводит к тому, что взрослые особи бросают гнезда, а кладка или птенцы погибают. В целях недопущения указанного в весенне-летний период на расстоянии 0,5 км от гнезда должны исключаться все лесокультурные или лесоводственные работы. Заготовка древесины осуществляется только в зимний период, при этом вокруг гнезда, при проведении сплошнолесосечных и чересполосных постепенных рубок должна создаваться буферная зона радиусом до 300 м с целью сохранения экологической обстановки и ландшафта вокруг гнезда. При выборочных рубках оставление буферной зоны не предусматривается, потому что экологическая обстановка вокруг гнезда сохраняется. Однако в том и другом

интенсивность в указанной зоне снижается до слабой (не более 20%).

Ключевые биотопы – это участки леса, имеющие значение для сохранения биологического разнообразия. К ним относятся:

- небольшие заболоченные понижения;
- участки леса вдоль временных (пересыхающих водотоков с выраженными руслами);
- участки леса вокруг родников и мест выклинивания грунтовых вод;
- окраины болот;
- опушки леса;
- участки леса на каменистых россыпях, скальных обнажениях и карстовых образованиях;
- группы деревьев редких видов, произрастающих на границе их естественного ареала;
- окна распада древостоя с естественным возобновлением и валежом;
- участки леса в местах норения барсуков, устройства медвежьих берлог;
- участки обитания редких видов животных, растений и других организмов.

Помимо выделения ключевых элементов древостоя и ключевых биотопов вокруг некоторых из них создаются буферные зоны. Ширина буферных зон зависит от вида объекта и региональных особенностей. Так, заболоченные участки леса и бессточные понижения регулируют водный режим и микроклимат, являются местообитанием редких и исчезающих видов растений. Избыточное увлажнение почвы, угнетенный древостой, высокая фаутичность, доминиру-

вание травяно-болотного типа леса вызывает необходимость создания вокруг подобных участков буферной зоны шириной 50 м при проведении сплошнолесосечных и 25 м при проведении выборочных рубок.

Участки леса на выходах скальных пород, каменистых участках, карстовых образованиях (каменистые россыпи, скальные обнажения, скалы-останцы, крупные валуны, карстовые формы рельефа) выделяются в случае проведения сплошнолесосечной и чересполосной постепенной рубки с созданием буферной зоны вокруг шириной не менее 30 м.

Оставление единичных деревьев с гнездами и (или) дуплами при сплошнолесосечных или чересполосных выборочных рубках не имеет смысла, поскольку птицы не возвращаются в указанные гнезда из-за резкого изменения окружающего ландшафта. Последнее свидетельствует о необходимости выделения вокруг них буферных зон.

Оставление единичных сухостойных деревьев и высоких пней, не представляющих опасности при разработке лесосеки, объясняется тем, что хищные птицы, регулирующие размножение мышевидных грызунов на вырубках, выбирают указанные деревья в качестве наблюдательных пунктов. Кроме того, высокие пни («остолопы») очень часто используются для устройства гнезд мелкими птицами.

Оставление старовозрастных низкостебельных или неликвидных деревьев создает условия для гнездования птиц, поскольку дятлы очень часто вырубает такие деревья для изготовления дупел, а после выведения в них птенцов оставляют дупла для заселения синицами и другими мелкими птицами. Кроме того, на коре перестойных деревьев поселяются разные виды лишайников, что способствует увеличению биоразнообразия. Так, в частности, на коре перестойной осины произрастает лишайник лобария легочная, занесенный в Красную книгу Урала.

Для сохранения жилых нор, логовищ, берлог животных выделяются буферные (охранные) зоны радиусом 50–100 м в зависимости от размера убежища при проведении сплошных и чересполосных постепенных рубок. При проведении выборочных рубок буферные зоны сохраняются только в период разложения и кормления потомства.

Особого внимания заслуживают окна распада древостоев с естественным возобновлением. Оставление деревьев в этих окнах будет служить сохранению подроста предварительной генерации, сглаживая

резкие перепады температуры и создавая среду обитания для птиц и млекопитающих. Именно сохраненный подрост будет служить каркасом при формировании на вырубке будущего насаждения. Кроме того, из-за периодичности семенных лет и сложности перемещения семян на большие расстояния подрост последующей генерации из хвойных пород формируется очень медленно. Чаще всего на вырубке наблюдается смена пород, что, в свою очередь, обедняет видовое разнообразие формирующихся молодняков. Сохранение куртин подроста под защитой единичных старовозрастных деревьев способствует формированию разновозрастного смешанного насаждения не только более богатого по перечню видов, но и более устойчивого к негативному воздействию различных природных и антропогенных факторов.

Ключевые элементы древостоя, ключевые биотопы и буферные зоны вокруг них выделяются в процессе проведения работ по отводу лесосек и заносятся в технологическую карту разработки лесосеки. Однако если в процессе разработки лесосеки будут обнаружены ключевые элементы древостоя и ключевые биотопы, не отраженные в технологической карте, то они выделяются дополнительно с включением их местонахождения в технологическую карту.

Для реализации высказанных предложений по сохранению биологического разнообразия при заготовке древесины необходимо для каждого лесного района или субъекта Российской Федерации разработать методические рекомендации по сохранению биологического разнообразия при заготовке древесины и включить их требования в лесохозяйственные регламенты лесничеств и лесопарков. Подобные рекомендации уже разработаны для ряда субъектов Российской Федерации [12–13], что способствовало экологизации заготовки древесины.

Особо следует отметить, что сохранение биологического разнообразия возможно только при условии знания лесопользователями требований вышеуказанных рекомендаций, а также видов, занесенных в красные книги субъектов Российской Федерации. Указанное вызывает необходимость обучения персонала, занимающегося отводом лесосек, а также их разработкой.

Выводы

1. При заготовке древесины одной из первостепенных задач является недопущение снижения биологического разнообразия.

2. Сохранению биологического разнообразия будет способствовать замена сплошнолесосечных рубок на выборочные с выделением на лесосеках ключевых элементов древостоя, ключевых биотопов и буферных (охранных) зон вокруг них.

3. Для каждого лесного района и (или) субъекта Российской Федерации должны быть разработаны методические рекомендации по сохранению биологического разнообразия при заготовке древесины.

4. Работники арендных предприятий, занимающихся заготовкой древесины, и лесничества должны периодически проходить обучение по проблеме сохранения биологического разнообразия и требований природоохранного законодательства по данному вопросу.

Список литературы

1. Цветков В.Ф. Этюды экологии: учеб. пособие / В.Ф. Цветков. – Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2009. – 354 с.
2. Азаренок В.А. Экологизированные рубки леса: учеб. пособие / В.А. Азаренок, С.В. Залесов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. – 97 с.
3. Правила заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, лесопарках, указанных в ст. 23 Лесного кодекса Российской Федерации: Утв. Приказом Минприроды России от 13.09.2016 г. № 474. URL: http://www.forestforum.ru/info/laws/PZD_474.pdf. (дата обращения: 20.03.2017).
4. Хайретдинов А.Ф. Введение в лесоводство: учеб. пособие / А.Ф. Хайретдинов, С.В. Залесов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2011. – 202 с.
5. Тихонов А.С. Лесоводство: Учебник / А.С. Тихонов, В.Ф. Ковязин. – СПб.: Издательство «Лань», 2017. – 480 с.
6. Hansson L. Key habitats in Swedish managed forests // Scand. J. For. Rec. Suppl., 2001. – № 3. – P. 52–61.
7. Rydgen B., Kyllkorpi L., Bodlund B. Experiences from five years of using the biotope method, a tool for quantitative biodiversity impact assessment // Impact Assessment and Project Appraisal. – March 2005. – Vol. 23, № 1. – P. 42–48.
8. Sverdrup-Thygeson A. Key habitats in the Norwegian production forest: a case study // Scand. J. For. Rec. – 2002. – № 17.
9. Бунькова Н.П. Основы фито мониторинга: учеб. пособие / Н.П. Бунькова, С.В. Залесов, Е.А. Зотеева, А.Г. Магасюмова. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2011. – 89 с.
10. Система мониторинга наблюдений за состоянием биоты на территории Свердловской области (Отв. ред. И.А. Кузнецова). – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2005. – 205 с.
11. Залесов С.В. Задачи сохранения биоразнообразия при заготовке древесины и пути их решения / С.В. Залесов, Е.А. Ведерников, В.Н. Залесов, О.Н. Суяндиков, А.В. Пономарева, Д.Э. Эфа // Аграрный вестник Урала. – 2016. – № 2 (144). – С. 37–40.
12. Методические рекомендации по сохранению биоразнообразия при заготовке древесины в Архангельской области / Е.А. Рай, Н.В. Бурова, С.Ю. Рыкова и др.; Всемирный фонд дикой природы (WWF). – Архангельск, 2013. – 63 с.
13. Рекомендации по отводу и таксации лесосек в насаждениях Архангельской области / Сост. С.В. Третьяков, С.В. Коптев, А.А. Бахтин и др. – Архангельск: ИД САФУ, 2014. – 100 с.

УДК 630*114.351: 635.051.7/.8

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСИ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД В СОСТАВЕ ДРЕВОСТОЕВ ЕЛЬНИКА ЗЕЛЕНОМОШНОГО НА ИХ УСТОЙЧИВОСТЬ

Иванчина Л.А., Залесов С.В.

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

В последние годы в различных регионах нашей страны обострилась проблема усыхания еловых насаждений. Считается, что смешанные насаждения более устойчивы, чем чистые, к неблагоприятным антропогенным и природным факторам. В то же время работ по влиянию примеси сопутствующих пород на усыхание еловых насаждений в научной литературе практически нет. Нами проанализированы акты лесопатологического обследования еловых насаждений по Очерскому лесничеству Пермского края за последние 7 лет. Общая площадь зафиксированных очагов усыхания за анализируемый период составила 1975,4 га с охватом 114 выделов. Установлена четкая тенденция увеличения очагов усыхания еловых насаждений. Если в 2010 г. площадь очагов усыхания не превышала 11 га, то в 2016 г. она составила 526,9 га. В процессе исследований все зафиксированные очаги усыхания были распределены по составу древостоев и полученные данные сопоставлены с распределением общей площади еловых насаждений Очерского лесничества с древостоями аналогичного состава. Результаты исследований показали, что максимальной устойчивостью к усыханию характеризуются насаждения ельника зеленомошного со значительной долей участия лиственных пород в составе древостоев. В частности, более устойчивы к усыханию ельники зеленомошного типа леса с примесью березы более 30% и с примесью осины более 20%. Минимальной устойчивостью характеризуются еловые насаждения с примесью в составе древостоев сосны обыкновенной. Указанные насаждения формируются на наиболее сухих участках ельника зеленомошного, чем, на наш взгляд, и объясняется меньшая устойчивость ели.

Ключевые слова: Пермский край, ельник зеленомошный, состав древостоя, лиственные породы, усыхание

IMPACT OF PINE ADMIXTURES IN GREEN-MOSS SPRUCE STANDS COMPOSITION ON THEIR STABILITY

Ivanchina L.A., Zalesov S.V.

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

The Problem of spruce stands drying has been aggravated sharply nowadays. It's considered that mixed stands are more stable than pure ones against unfavourable anthropogenic and nature factors. In scientific literature there are practically no researches concerning the impact of accompanying species on spruce stands drying. We have analyzed the acts of forest pathological examination of spruce stands in the Ocher forestry of Perm Krai for the last 7 years. The area of recorded foci of desiccation for the analyzed period was 1975,4 hectare with a coverage of 114 sites. A clear tendency has been found for the increase in the desiccation foci of spruce stands. In 2010 the area of desiccation foci did not exceed 11 hectare, in 2016 it was 526,9 hectare. All recorded foci of desiccation were distributed according to the composition of the stands and the obtained data were compared to the distribution of the total area of spruce stands of the Ocher forestry with stands of similar composition. The research shows that green-moss spruce stands are characterized by maximum resistance drying with a significant share of hardwood in the composition of stands. Green-moss spruce stands of forest type with a birch admixture of more than 30% and with an aspen admixture of more than 20% are more resistant to drying. Spruce plantings with an admixture of *Pinus sylvestris* L. are characterized by minimal stability. These plantations are formed in the driest parts of the green spruce forest, and this explains the lesser resistance of spruce.

Keywords: Permsky krai, green-moss spruce stands, composition of stands, hardwood species, drying

В последнее время в различных регионах нашей страны и ближнего зарубежья резко обострилась проблема усыхания еловых древостоев [1, 6, 8–12, 14–15]. К сожалению, ученым так и не удалось прийти к единому мнению о причинах этого явления. Большинство авторов полагает [3, 4, 13], что смешанные насаждения характеризуются повышенной, по сравнению с чистыми, устойчивостью против неблагоприятных природных и антропогенных факторов. Однако подобная точка зрения не однозначна. Так, Е.Г. Малахова [7] отмечает, что усыхание еловых древостоев наблюдается преимущественно при доле ели в составе древостоев более 50%.

Примесь в ельниках различных древесных пород указывает на определенные почвенные условия. Так, в частности, под еловыми древостоями, в запасе которых значительную долю составляют лиственные породы, за счет ежегодного опада листвы формируются более плодородные почвы, чем в чистых хвойных древостоях. Значительная примесь лиственных пород свидетельствует о благоприятных почвенных условиях для произрастания ели.

В зоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Пермского края отмечается ежегодное увеличение очагов усыхания еловых насаждений, что вызывает необходимость установления причин данного

явления и поиска путей минимизации наносимого ущерба. В то же время работ по анализу влияния состава древостоев на усыхание ельников в научной литературе нами практически не обнаружено [5]. Последнее определило направление наших исследований.

Цель исследования

Целью исследований являлось установление зависимости между долей участия различных лиственных пород в составе древостоев и площадью усыхания насаждений ельника зеленомошного в условиях зоны хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Пермского края.

Материалы и методы исследования

Объектом исследований служили еловые насаждения зеленомошного типа леса, произрастающие на территории Очерского лесничества Пермского края.

В процессе исследований выполнено распределение ельников зеленомошного типа леса по участию в составе древостоев различных лиственных пород в целом по лесничеству, а также в очагах усыхания.

В ходе работы проанализированы акты лесопатологического обследования за период с 2010 по 2016 г.

При лесопатологическом обследовании закладывались пробные площади по общепринятой утвержденной методике [2], согласно которой в древостоях, где в результате уборки деревьев IV и ниже категорий санитарного состояния относительная полнота снижалась ниже 0,4, назначались сплошные санитарные рубки. При более высоком значении относительной полноты деревьев I–III категорий санитарного состояния назначались выборочные санитарные рубки. Если величина текущего отпада была ниже величины естественного отпада

в насаждениях аналогичного состава и возраста, то насаждение считалось здоровым.

Под термином устойчивость нами понималась способность деревьев или сохранять жизнеспособное состояние при различных видах негативного антропогенного и природного воздействия.

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно материалам лесоустройства Очерского лесничества, площадь насаждений ельника зеленомошного составляет более 29 тыс. га. За период с 2010 по 2016 г. зафиксировано усыхание еловых насаждений зеленомошного типа леса на площади 1975,4 га с охватом 114 выделов (табл. 1).

Материалы табл. 1 свидетельствуют, что площадь очагов усыхания насаждений ельника зеленомошного типа леса заметно увеличилась. Так, если в 2010 г. она составляла 11 га, то в 2016 г. – 526,9 га. Таким образом, прослеживается четкая тенденция усыхания еловых насаждений, свидетельствующая о необходимости проведения лесоводственных мероприятий, направленных на минимизацию наносимого ущерба.

По составу в Очерском лесничестве преобладают смешанные хвойно-лиственные древостои (табл. 2). На насаждения ельника зеленомошного указанного типа состава приходится 76,44 % от общей площади насаждений ельника зеленомошного. При этом доля смешанных хвойно-лиственных насаждений в общей площади очагов усыхания не превышает 61,43 %. На долю смешанных хвойных древостоев приходится 14,07 %. При этом доля смешанных хвойных насаждений в очагах усыхания составляет 37,95 %. Другими словами, 99,38 % от общей площади очагов усыхания приходится на смешанные хвойно-лиственные и хвойные насаждения.

Таблица 1

Насаждения ельника зеленомошного Очерского лесничества с наличием очагов усыхания

Участковое лесничество	Количество и площадь обследованных выделов по годам, шт/га							Итого, шт/га
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Большесосновское	–	–	$\frac{2}{45}$	$\frac{9}{181}$	$\frac{2}{24,1}$	$\frac{13}{242}$	$\frac{10}{222,3}$	$\frac{36}{714,4}$
Оханское	–	$\frac{3}{18,3}$	$\frac{4}{40,6}$	$\frac{14}{202,8}$	$\frac{25}{423,8}$	$\frac{15}{241,9}$	$\frac{15}{304,6}$	$\frac{76}{1232}$
Очерское	$\frac{1}{11}$	–	–	–	–	$\frac{1}{18}$	–	$\frac{2}{29}$
Итого	$\frac{1}{11}$	$\frac{3}{18,3}$	$\frac{6}{85,6}$	$\frac{23}{383,8}$	$\frac{27}{447,9}$	$\frac{29}{501,9}$	$\frac{25}{526,9}$	$\frac{114}{1975,4}$

Таблица 2

Распределение площади насаждений ельника зеленомошного в целом по лесничеству и в очагах усыхания по типам состава (сравнительная характеристика)

Типы насаждений по составу	Занимаемая площадь в лесничестве		Занимаемая площадь в очагах усыхания	
	га	%	га	%
Чистые еловые	332,0	1,14	12,2	0,62
Смешанные хвойные	4097,9	14,07	749,6	37,95
Смешанные хвойно-лиственные	22265,3	76,44	1213,6	61,43
Смешанные елово-лиственные	2327,5	7,99	—	—
Прочие	106,8	0,37	—	—
Итого	29129,5	100	1975,4	100

Таблица 3

Площадь насаждений ельника зеленомошного с участием сопутствующих пород в составе древостоев в лесном фонде лесничества и в очагах усыхания (сравнительная характеристика)

Сопутствующая порода	Занимаемая площадь по лесничеству		Занимаемая площадь в очагах усыхания	
	га	%	га	%
Сосна	21196,1	72,77	1785,2	90,37
Пихта	17791,0	61,08	1502,4	76,06
Лиственница	117,6	0,40	—	—
Береза	22598,6	77,58	944,4	47,81
Осина	16207,0	55,64	653,5	33,08
Липа	587,5	2,02	—	—
Ива	701,6	2,41	—	—
Ольха	81,4	0,28	—	—

Смешанные елово-лиственные насаждения, в которых ель произрастает совместно с лиственными породами, занимают на территории лесничества в типе леса ельник зеленомошный почти 8%. Однако очагов усыхания в насаждениях с примесью к ели лиственных пород за весь период исследований не зафиксировано. Таким образом, наблюдается четкая тенденция положительного влияния примеси лиственных пород в составе древостоев ельника зеленомошного на устойчивость ели.

Ельники зеленомошного типа леса имеют в своем составе, помимо ели, ещё 8 древесных пород, из них 5 – лиственные (табл. 3). При этом усыхания в насаждениях, в которых произрастают такие сопутствующие лиственные породы, как липа, ива, ольха, не зафиксировано.

Материалы табл. 3 свидетельствуют, что если в целом по лесничеству береза присутствует в 77,58% насаждений ельника зеленомошного, то в зафиксированных очагах усыхания доля насаждений с березой в составе древостоев сокращается до

47,81%. Аналогичная ситуация наблюдается в древостоях с участием осины: в целом по лесничеству осина произрастает в 55,64% насаждений ельника зеленомошного, а в очагах усыхания доля насаждений с осиной в составе древостоев составила 33,08%. Таким образом, факт пониженной доли усохших насаждений с лиственными породами в составе древостоев установлен.

Последнее вызывает необходимость более детального анализа усыхания еловых насаждений с лиственными породами в составе древостоев.

Приведенные в табл. 4 данные свидетельствуют, что доля участия березы в ельниках зеленомошного типа леса варьирует от 2–5 до 100%. Большинство еловых насаждений зеленомошного типа леса имеют примесь березы одну (29,89%) и две (26,75%) единицы в формуле состава. Согласно актам лесопатологического обследования очагов усыхания, в условиях Очерского лесничества усыхание в древостоях с участием березы зафиксировано лишь в насаждениях III и IV классов возраста (табл. 5).

Таблица 4

Распределение ельников зеленомошных Очерского лесничества
по доле примеси березы в составе древостоев, га/%

Класс возраста	Доля участия березы в составе древостоев, %											Итого
	2–5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
I	<u>26,5</u> 1,82	<u>43,5</u> 2,98	<u>307,3</u> 21,07	<u>362,9</u> 24,89	<u>333,6</u> 22,88	<u>169,9</u> 11,65	<u>141</u> 9,7	<u>36,7</u> 2,52	<u>33,6</u> 2,3	–	<u>3,3</u> 0,2	<u>1458,3</u> 100
II	<u>37,3</u> 3,51	<u>135</u> 12,7	<u>319,7</u> 30,1	<u>186,4</u> 17,6	<u>120,9</u> 11,4	<u>87,7</u> 8,26	<u>33,2</u> 3,13	<u>72,3</u> 6,81	<u>34,2</u> 3,22	<u>30,4</u> 2,86	<u>5</u> 0,5	<u>1062,1</u> 100
III	<u>863,2</u> 11,61	<u>2491,1</u> 33,51	<u>1885</u> 25,36	<u>736</u> 9,9	<u>585,9</u> 7,88	<u>293,6</u> 3,95	<u>233,6</u> 3,14	<u>156,3</u> 2,1	<u>105,2</u> 1,42	<u>64,5</u> 0,87	<u>18,6</u> 0,25	<u>7433</u> 100
IV	<u>1063,6</u> 10,19	<u>3499,3</u> 33,52	<u>3000,8</u> 28,74	<u>1055,3</u> 10,11	<u>652,3</u> 6,25	<u>417,5</u> 4,0	<u>303,8</u> 2,91	<u>264,4</u> 2,53	<u>152,5</u> 1,46	<u>26,2</u> 0,25	<u>4,5</u> 0,04	<u>10440,2</u> 100
V	<u>552</u> 26,1	<u>566,4</u> 26,77	<u>525,4</u> 24,84	<u>272,8</u> 12,9	<u>75,6</u> 3,57	<u>21,4</u> 1,01	<u>47,2</u> 2,23	<u>45,8</u> 2,16	<u>8,9</u> 0,42	–	–	<u>2115,5</u> 100
VI	<u>18</u> 37,04	<u>12,8</u> 26,34	<u>6,3</u> 12,96	<u>9,9</u> 20,37	<u>1,6</u> 3,29	–	–	–	–	–	–	<u>48,6</u> 100
VII	<u>4,7</u> 11,49	<u>5,7</u> 13,94	–	<u>1,6</u> 3,91	<u>26,1</u> 63,81	<u>2,8</u> 6,85	–	–	–	–	–	<u>40,9</u> 100
Итого	<u>2565,3</u> 11,35	<u>6753,8</u> 29,89	<u>6044,5</u> 26,75	<u>2624,9</u> 11,62	<u>1796</u> 7,95	<u>992,9</u> 4,39	<u>758,8</u> 3,36	<u>575,5</u> 2,55	<u>334,4</u> 1,48	<u>121,1</u> 0,54	<u>31,4</u> 0,14	<u>22598,6</u> 100

Таблица 5

Распределение очагов усыхания насаждений ельника зеленомошного
по доле участия березы в составе древостоев, га/%

Класс возраста	Доля участия березы в составе древостоев, %						Итого
	2–5	10	20	30	40	50	
III	<u>9,6</u> 2,84	<u>231,6</u> 68,44	<u>70,0</u> 20,69	<u>10,5</u> 3,10	<u>16,7</u> 4,93	–	<u>338,4</u> 100
IV	<u>16,1</u> 2,66	<u>343,7</u> 56,72	<u>206,0</u> 33,99	<u>29,2</u> 4,82	–	<u>11,0</u> 1,82	<u>606,0</u> 100
Итого	<u>25,7</u> 2,72	<u>575,3</u> 60,92	<u>276,0</u> 29,22	<u>39,7</u> 4,20	<u>16,7</u> 1,77	<u>11,0</u> 1,16	<u>944,4</u> 100

Материалы табл. 5 наглядно свидетельствуют, что усыхание не наблюдается при примеси березы в составе ельника зеленомошного более 50%. Максимальной долей усыхания характеризуются ельники зеленомошные с примесью березы в составе древостоев 10%, на которые приходится 60,92% общей площади очагов усыхания, зафиксированных в ельнике вышеуказанного типа леса.

Особо следует отметить, что доля ельников с примесью березы в составе древостоев 10% в Очерском лесничестве не превышает 29,89%. При участии березы в составе древостоев 20% доля усохших ельников зеленомошного типа леса составляет 29,22%.

При этом доля ельников с примесью березы в составе древостоев 20% в Очерском лесничестве не превышает 26,75%. При примеси березы от 30% в составе древостоев наблюдается обратная ситуация: доля зафиксированных очагов усыхания не

превышает аналогичную долю в целом по лесничеству. Таким образом, наблюдается следующая закономерность: с увеличением доли участия березы в составе древостоев ельника зеленомошного устойчивость насаждений к усыханию повышается.

Согласно материалам лесоустройства Очерского лесничества, доля участия осины в ельниках зеленомошного типа леса варьирует от 2–5 до 90% (табл. 6).

Большинство ельников зеленомошного типа леса имеют примесь осины 10% (44,21%) в составе древостоев.

Акты лесопатологического обследования показали, что усыхание в древостоях с участием осины обнаружено в насаждениях III, IV и V классов возраста (табл. 7).

Согласно сведениям табл. 7, усыхание не обнаружено в насаждениях при доле осины в составе древостоев свыше 30%. Особо следует отметить, что доля насаждений ельника зеленомошного с примесью

осины в составе древостоев 2–5 % составляет 13,65 %, при этом на долю насаждений указанного состава приходится 16,48 % площади очагов усыхания. Максимальной долей усыхания характеризуются ельники зеленомошные с примесью осины в составе древостоев 10 %, на которые приходится 69,99 % общей площади очагов усыхания. Следует отметить, что доля ельников с примесью осины в составе древостоев 10 % в Очерском лесничестве не превышает 44,21 %.

Меньшей долей усыхания характеризуются насаждения ельника зеленомошного с примесью осины 20 и 30 % (8,78 и 4,74 % соответственно). При этом доля насаждений с примесью осины 20 и 30 % в лесничестве достигает 27,6 и 6,98 % соответственно. Указанное наглядно свидетельствует о зависимости устойчивости ельников от примеси осины в составе древостоев.

Таким образом, значительная доля примеси лиственных пород в составе древостоев ельника зеленомошного оказывает положительное влияние на устойчивость насаждений.

Выводы

1. В условиях подзоны хвойно-широколиственных лесов Пермского края за последние 7 лет наблюдается нарастание очагов усыхания в насаждениях ельника зеленомошного.

2. Минимальной устойчивостью характеризуются смешанные хвойные и смешанные хвойно-лиственные насаждения, на долю которых приходится 99,38 % общей площади очагов усыхания.

3. При значительной примеси лиственных пород в составе древостоев ельника зеленомошного в условиях хвойно-широколиственных (смешанных) лесов устойчивость ели к усыханию повышается.

Таблица 6

Распределение ельников зеленомошных Очерского лесничества по доле примеси осины в составе древостоев, га/%

Класс возраста	Доля участия осины в составе древостоев, %										Итого
	2–5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
I	38 4,02	135,8 14,35	431,5 45,59	106,2 11,22	164,6 17,39	37,3 3,94	19,4 2,05	–	13,6 1,44	–	946,4 100
II	75,8 13,13	124 21,48	118,6 20,55	54,9 9,51	185,9 32,21	5,4 0,94	5,5 0,95	3,4 0,59	3,7 0,64	–	577,2 100
III	706,3 14,11	2395,9 47,88	1259 25,16	262,2 5,24	178,1 3,56	141,8 2,83	26,3 0,53	28,7 0,57	4,4 0,09	1,3 0,03	5004 100
IV	1184,5 14,39	3911,2 47,51	2274,1 27,62	515,4 6,26	197,8 2,40	85,4 1,04	25,2 0,31	19,5 0,24	19,9 0,24	–	8233 100
V	199,8 14,06	587,2 41,33	388,7 27,36	192,7 13,56	18,3 1,29	33,9 2,39	–	–	–	–	1420,6 100
VI	–	10 62,89	1 6,29	–	–	–	4,9 30,8	–	–	–	15,9 100
VII	8,2 82,83	1,7 17,17	–	–	–	–	–	–	–	–	9,9 100
Итого	2212,6 13,65	7165,8 44,21	4472,9 27,6	1131,4 6,98	744,7 4,59	303,8 1,87	81,3 0,5	51,6 0,32	41,6 0,26	1,3 0,01	16207 100

Таблица 7

Распределение очагов усыхания насаждений ельника зеленомошного по доле участия осины в составе древостоев, га/%

Класс возраста	Доля участия осины в составе древостоев, %				Итого
	2–5	10	20	30	
III	37,7 16,88	148,1 66,29	37,6 16,83	–	223,4 100
IV	70 17,85	271,3 69,19	19,8 5,05	31 7,91	392,1 100
V	–	38 100	–	–	38 100
Итого	107,7 16,48	457,4 69,99	57,4 8,78	31 4,74	653,5 100

4. Максимальной устойчивостью к усыханию характеризуются ельники зелено-мошного типа леса с примесью березы более 50 % и с примесью осины более 30 %.

5. Значительное усыхание ельников наблюдается в насаждениях с примесью березы 10 и 20 % по запасу и с примесью осины 2–5 и 10 % по запасу.

6. Влияние лиственных пород на устойчивость ели к усыханию следует учитывать при проведении рубок ухода и создании лесных культур.

Список литературы

1. Бабуринов А.А. Усыхание ельников в Большесохтинском заповеднике / А.А. Бабуринов, А.Б. Мельникова // Леса и лесное хозяйство в современных условиях. – Хабаровск: Изд-во ФГУ «ДальНИИЛХ», 2011. – С. 217–219.
2. Данчева А.В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения / А.В. Данчева, С.В. Залесов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. – 152 с.
3. Залесов С.В. Научное обоснование системы лесоводственных мероприятий по повышению продуктивности со-сновых лесов Урала: дис. ... д-ра с.-х. наук. – Екатеринбург, 2000. – 450 с.
4. Залесов С.В. Ценопопуляции лесных и луговых видов растений в антропогенно нарушенных ассоциациях Нижегородского Поволжья и Повелужья / С.В. Залесов, Е.В. Невидомова, А.М. Невидомов, Н.В. Соболев. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2013. – 204 с.
5. Иванчина Л.А. Усыхание еловых древостоев на юге Пермского края / Л.А. Иванчина // Аграрное образование и наука: электронный журнал. – 2016. – № 3. URL: <http://aon.urgau.ru/ru/issues/17/articles/304> (дата обращения: 01.03.2017).
6. Ковалевич А.И. Массовое усыхание ельников в республике Беларусь: состояние, проблемы и пути решения / А.И. Ковалевич, В.В. Усень // Проблемы и перспективы совершенствования лесоводственных мероприятий в защитных лесах: тезисы докл. Междунар. науч.-практ. конф. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2014. – С. 92–96.
7. Малахова Е.Г. Усыхание ельников в Клиновском лесничестве Московской области / Е.Г. Малахова, А.М. Крылов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 1–8. – С. 1975–1978.
8. Манько Ю.И. Динамика усыхания пихтово-еловых лесов в бассейне р. Едника (Приморский край) / Ю.И. Манько, Г.А. Гладкова, Г.Н. Бутовец // Лесоведение. – 2009. – № 1. – С. 103–104.
9. Маслов А.Д. «Короедная» опасность для лесов – следствие природных катаклизмов 2010 г. / А.Д. Маслов // Защита лесов юга России от вредных насекомых и болезней: сб. статей. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2011. – С. 67–69.
10. Межибовский А.М. Об усыхании еловых лесов / А.М. Межибовский // Лесное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 29.
11. Сазонов А.А. Массовое усыхание еловых лесов Беларуси на рубеже XX – XXI вв. и пути минимизации их последствий / А.А. Сазонов, В.Н. Кухта, А.И. Блинцов // Лесное хозяйство. – 2014. – № 3. – С. 9–12.
12. Сазонов А.А. Массовое усыхание как перманентное состояние еловых лесов Беларуси / А.А. Сазонов // Современное состояние и перспективы охраны и защиты лесов в системе устойчивого развития. – Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 2013. – С. 110–114.
13. Хайретдинов А.Ф. Введение в лесоводство: учебное пособие / А.Ф. Хайретдинов, С.В. Залесов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2011. – 202 с.
14. Цветков В.Ф. Широкомасштабное усыхание коренных ельников в междуречье С. Двины и Пинеги // Пути рационального воспроизводства, использования и охраны лесных экосистем в зоне хвойно-широколиственных лесов: сб. научн. чтений, посвященных 70-летию заслуж. лесоведа Аглиулина Ф.В. в Казани. – Чебоксары, 2005. – С. 516–523.
15. Negrón J.F. US Forest Service bark beetle research in the western United States: Looking toward the future / J.F. Negrón, B.J. Bentz, C.J. Fettig et al. // Journal of Forestry. – 2008. – Vol. 106. – P. 325–331.

УДК 630*651.72

ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ НА ВЫРУБКАХ СОСНЯКОВ В РАЙОНЕ СРЕДНЕГО ПРИАНГАРЬЯ

Рунова Е.М., Соловьёва А.А.

ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», Братск, e-mail: runova@rambler.ru

В статье описана методика изучения естественного возобновления сосны обыкновенной на вырубках в эксплуатационных лесах Среднего Приангарья. Обобщены и систематизированы результаты многолетних натурных исследований на постоянных пробных площадях в различных типах леса и давности проведения рубок. Представлена характеристика почвенно-климатических условий, состояния лесного фонда района исследований, характера и особенностей лесовосстановительных процессов. Исследовано состояние подроста сосны обыкновенной естественного происхождения. Особое внимание уделено лесоводственной оценке успешности естественного восстановления сосны обыкновенной в эксплуатационных лесах Восточной Сибири. Объектами исследования стали 5–6-летние рубки сосновых насаждений зеленомошной, разнотравной и лишайниковой групп типов леса общей площадью 507 га. Учёт естественного возобновления проводился в период с 2011 по 2016 г. по общепринятым методикам с закладкой пробных площадей, равномерно распределённых по ходовым линиям по всей площади рубки. Было определено общее количество подроста, его породный состав, встречаемость, а также наличие всходов древесных пород на вырубках. Выявлена таксационная характеристика подроста и произведена оценка естественного возобновления леса хвойными и лиственными породами.

Ключевые слова: лесовосстановление, рубки, подрост, естественное возобновление, сосна обыкновенная, воспроизводство леса, тип леса, оценка лесовосстановления

THE NATURAL REGENERATION ON THE LOGGING TERRITORIES OF PINE FORESTS ADJACENT TO THE MIDDLE ANGARA REGION

Runova E.M., Soloveva A.A.

Bratsk State University, Bratsk, e-mail: runova@rambler.ru

The article describes the technique for studying the natural regeneration of Scots pine on felling in the exploitation forests of the Middle Angara region. The results of long-term field studies on permanent trial plots in different types of forests and the prescription of felling are summarized and systematized. The characteristics of soil-climatic conditions, the condition of the forest fund of the research area, the nature and characteristics of reforestation processes are presented. The state of the pine undergrowth of natural plants was studied. Particular attention is paid to the silvicultural assessment of the success of the natural restoration of Scots pine in the operational forests of Eastern Siberia. The objects of the study were 5–6-year-old felling of pine plantations of green-moss, mixed-herb and lichen groups of forest types with a total area of 507 hectares. The account of natural renewal was carried out during the period from 2011 to 2016 according to generally accepted methods with laying trial plots evenly distributed along the running lines throughout the clearing area. The total number of undergrowth, its pedigree composition, occurrence, and also the presence of shoots of tree species on felling were determined. The taxonomic characteristics of the undergrowth have been determined and the natural regeneration of the forest by coniferous and deciduous species has been estimated.

Keywords: reforestation, felling, adolescence, natural renewal, Scots pine, forest reproduction, forest types, assessment of reforestation

Интенсивное освоение лесных ресурсов в районе Среднего Приангарья Иркутской области, увеличение мощности лесоперерабатывающих производств и высокий объем экспорта древесины ставят перед лесозаготовительной отраслью задачи по рационализации использования древесного сырья, а также обеспечению неистощительного лесопользования. В настоящее время есть все основания полагать, что число лесных площадей, подвергающихся рубке, с каждым годом будет только возрастать. В связи с этим на передний план выходит задача по лесовосстановлению сплошных рубок с максимально возможным восстановлением в будущем прежнего состава и структуры исходного леса.

В пределах транспортной доступности Иркутской области значительная часть лесов, в большей степени хвойных, уже освоена, а при отведении в рубку отдаленных насаждений возникают существенные проблемы по проведению лесовосстановительных мероприятий. Возникает острая необходимость в разработке мер и создании условий для успешного естественного восстановления вырубок хозяйственно ценными древесными породами, так как создание лесных культур часто не представляется возможным из-за значительных финансовых и трудовых затрат. Поэтому в условиях Иркутской области преимущественным способом лесовозобновления следует считать естественный способ [1–3].

Существует мнение, что естественное возобновление обеспечивает устойчивость лесного комплекса, способствует сохранению биологического разнообразия, поддерживает непрерывное лесопользование, приводит к рациональному хозяйству в лесу [4]. Вместе с этим данных о том, как в районе Среднего Приангарья протекают процессы естественного возобновления на вырубках, какие факторы влияют на их успешность или, наоборот, приводят к нежелательным последствиям, недостаточно.

Так как на территории Иркутской области на первое место по площади вырубок и объему вырубаемой древесины выходят насаждения сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), за направление проведенных исследований было принято изучение процессов формирования молодого поколения древесной растительности на их вырубках.

Цель проведенных исследований – оценка процессов естественного возобновления на вырубках сосновых насаждений в зависимости от исходного типа леса и давности рубки.

Материалы и методы исследования

Натурные изыскания были проведены в эксплуатационных лесах Среднего Приангарья на территории Братского района Иркутской области. Район исследования относится к Приангарскому лесному району таёжной лесорастительной зоны и является территорией, приравненной к районам Крайнего Севера. Влияние резко континентального климата здесь выражается сочетанием довольно продолжительной малоснежной зимы с длительно устойчивыми отрицательными температурами и короткого относительно тёплого летнего периода, во время которого выпадает основная масса годовых осадков. К неблагоприятным проявлениям климата можно отнести резкие колебания годовых и суточных температур воздуха, затяжной период с минусовыми температурами, островную вечную мерзлоту, глубокое промерзание почвенных горизонтов [5], а также поздневесенние и ранневесенние заморозки. Все эти факторы значительно снижают лесорастительный потенциал района исследований, так как создают неблагоприятные условия для роста и развития древесной растительности.

Основная часть лесопокрываемых площадей района исследования имеет естественную природу происхождения, лесные культуры встречаются довольно редко [6–8]. Наиболее распространены насаждения III

и IV класса бонитета, средняя относительная полнота – 0,65. Невысокую производительность лесов можно объяснить суровостью климата и бедностью почв. Распределение лесных земель по группам типов леса следующее: зеленомошная – 49,8%, разнотравная – 26,3%, лишайниковая – 13,3%, долгомошная – 5,7%, прочие – 4,9%. В районе исследования преобладают светлехвойные леса, причём на долю сосняков приходится около 40% от лесопокрываемой площади.

Объектами исследования стали 5–6-летние рубки сосновых насаждений зеленомошной, разнотравной и лишайниковой групп типов леса общей площадью 507 га. Учёт естественного возобновления проводился в период с 2011 по 2016 г. по общепринятым методикам с закладкой пробных площадей [9], равномерно распределённых по ходовым линиям по всей площади рубки. Было определено общее количество подроста, его породный состав, встречаемость, а также наличие всходов древесных пород на вырубках. Выявлены соотношения подроста предварительной и последующей генераций, а также хвойного и лиственного подроста. Сопутствующее возобновление не определялось, так как его необходимо учитывать в год рубки, а исследования проводились на 5–6 год после рубки. Проведена визуальная оценка благонадёжности каждого отдельно взятого экземпляра подроста сосны, на основе которой рассчитан индекс жизненного состояния всей его ценопопуляции в целом [10]. На каждой пробной площади исследования проводились на 5 или 6 год после проведения рубок, а также на 10–11 год после рубок и исследована динамика зарастания вырубков. Важным показателем качества возобновления является коэффициент встречаемости. Коэффициент встречаемости π представляет собой отношение числа площадок n_1 с наличием хотя бы одного экземпляра подроста к общему количеству площадок n :

$$\pi = \frac{n_1}{n} \cdot 100\%.$$

Если $\pi \geq 80\%$, то возобновление считается равномерным, если π меньше 80%, то распределение подроста по площади неравномерное и необходимо запроектировать создание частичных культур.

На всех исследуемых вырубках была проведена визуальная оценка жизненного состояния подроста с распределением его отдельных особей на благонадёжные, сомнительные, неблагонадёжные и сухостойные [10]. На основании полученных данных

рассчитывался индекс жизненного состояния ценопопуляции подроста по формуле

$$L = (100n_1 + 70n_2 + 10n_3)/N,$$

где L – относительное жизненное состояние ценопопуляции подроста; n_1, n_2, n_3 – число благонадёжных, сомнительных и неблагонадёжных экземпляров на 1 га соответственно; N – общее число экземпляров, включая сухостойные, на 1 га.

При значении индекса жизненного состояния 80–100% ценопопуляцию подроста оценивали как здоровую, 50–79% – ослабленную, 20–49% – сильно ослабленную, 0–19% – полностью нежизнеспособную.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследование вырубок сосняков различных групп типов леса показало, что процессы естественного возобновления на них протекают по-разному. При давности рубки 10–11 лет количество соснового подроста на вырубках варьировалось в следующих пределах: сосняк бруснично-зеленомошный – $5430-15240 \pm 25$ шт/га, сосняк раз-

нотравный – $1320-3650 \pm 25$ шт/га, сосняк лишайниковый – $5730-12120 \pm 25$ шт/га. Определено, что наименее успешно протекают процессы естественного возобновления на вырубках сосняка разнотравного.

В таблице приведены данные учета подроста на исследуемых вырубках сосняков.

Усредненное соотношение соснового подроста предварительной и последующей генераций на вырубках показано на рис. 1.

Как видно из таблицы, на вырубках бруснично-зеленомошного и лишайникового типов леса подрост в основном представлен сосной, то есть вырубки успешно возобновляются сосной, и нет вероятности нежелательных лесных сукцессий, проявляющихся в смене сосны на мелколиственные породы. На вырубках сосняков разнотравных, имеющих более богатые почвы и разнообразны по видовому составу живой напочвенный покров, преобладающей породой подроста является осина. Зарастание вырубок осинкой свидетельствует о смене пород. При уходе за подростом следует проводить рубки ухода, позволяющие сосне выйти в преобладающие породы.

Данные учёта подроста на вырубках сосняков

Номер пробной площади	Давность рубки, лет	Состав подроста, %	Число всходов сосны, шт/га	Численность соснового подроста, шт/га			Встречаемость, %
				предварительной генерации	последующей генерации	всего	
вырубки сосняка бруснично-зеленомошного (С бр.-зм.)							
1	5	74С17Л9Б + Е	240	2570	4760	7330	90
	10	69С16Б15Л + Е	1860	2240	3190	5430	70
5	6	91С9Б + Е	250	1250	7420	8670	80
	11	100С + Б, Е	10	1230	12410	13640	100
12	6	82С18Б	2810	260	8430	8690	100
	11	86С14Б	20	250	15240	15490	100
14	5	72С16Б12Л	20	700	3210	3910	100
	10	63С26Б11Л	—	700	3400	4100	80
вырубки сосняка разнотравного (С рт.)							
6	5	64Ос28С8Л + Б	—	430	1730	2160	30
	10	89Ос8С3Л + Б	—	380	940	1320	30
10	5	48С34Б18Ос	120	2140	1980	4120	50
	10	42С31Б27Ос	—	2130	1520	3650	40
13	5	67Ос19С14Б	—	1110	570	1680	40
	10	71Ос16Б13С	—	900	450	1350	30
вырубки сосняка лишайникового (С лиш.)							
4	6	9С1Л	4230	760	5640	6400	90
	11	10С + Л	1210	390	10460	10850	100
7	5	10С + Б	6640	330	6550	6880	100
	10	10С + Б	830	290	11830	12120	100
9	5	10С	1540	1120	3170	4290	80
	10	10С	1020	510	5220	5730	90

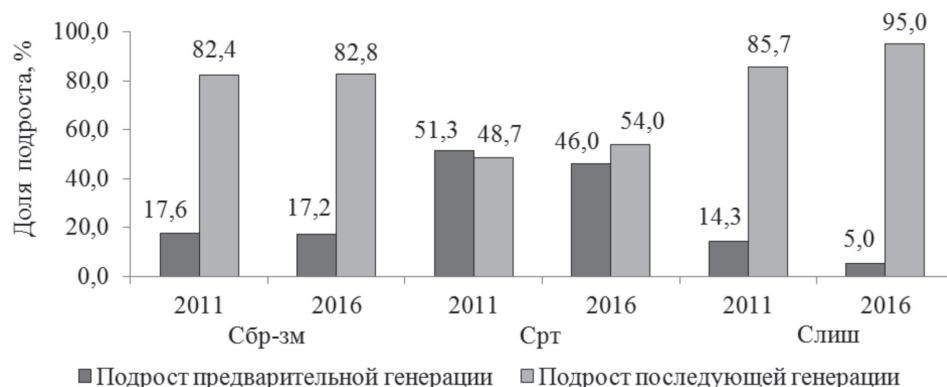


Рис. 1. Соотношение подроста предварительной и последующей генераций

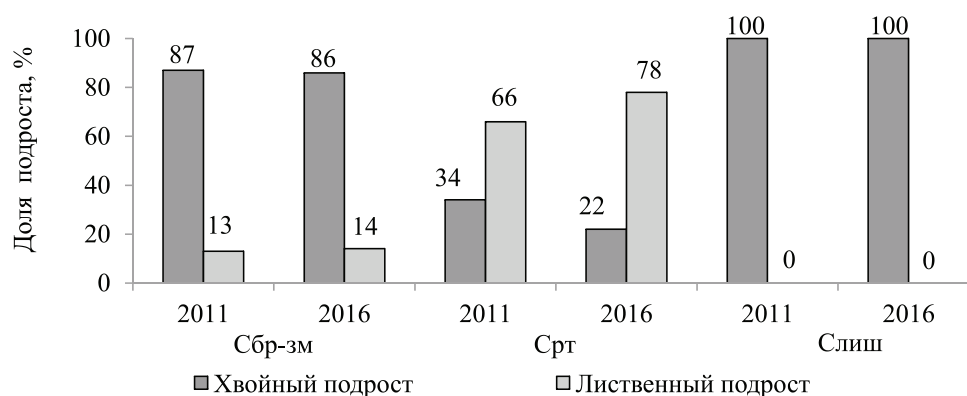


Рис. 2. Соотношение хвойного и лиственного подроста на вырубках

По количеству подроста на гектаре наибольшая численность принадлежит последующему возобновлению сосны на бруснично-зеленомошных и лишайниковых типах вырубok. Общее количество подроста в этих типах леса составляет от 4,1 до $15,5 \pm 0,2$ тысяч штук на гектаре. Такое количество подроста свидетельствует о хорошем естественном возобновлении, при котором не требуется проведение дополнительных лесокультурных мероприятий.

Вырубki разнотравных типов леса, подверженные зарастанию вейником и кипреем, возобновляются неудовлетворительно. Общее количество подроста на них колеблется от 1,3 до 4,1 тысяч штук на гектаре, что недостаточно для формирования полноценного леса. На большинстве вырубok данного типа леса необходимо провести лесокультурные работы посевом или посадкой семян.

Встречаемость подроста на бруснично-зеленомошных и лишайниковых вырубках составляет в основном 80–100 %. При таком

коэффициенте встречаемости возобновление является равномерным и успешным. На вырубках разнотравных сосняков коэффициент встречаемости составляет всего 30–50 %, что свидетельствует о неравномерном распределении, следовательно, на этих вырубках и по количеству подроста, и по коэффициенту встречаемости необходимо проектировать создание частичных лесных культур сосной.

Успешное возобновление вырубok сосняков бруснично-зеленомошных и сосняков лишайниковых протекает за счёт подроста последующей генерации. На вырубках разнотравных сосняков соотношение подроста разных поколений примерно равно. Невысокая численность последующего возобновления в данных лесорастительных условиях, а также полное отсутствие к 10–11 послерубочному году сосновых всходов, прорастанию которых препятствует сильное задернение почвенного слоя травянистой растительностью, свидетельствуют о необходимости мак-

симально возможного сохранения жизнеспособного подроста во время рубки.

Возобновление вырубок лишайниковых сосняков представлено преимущественно сосной обыкновенной, смена пород в будущем маловероятна. Небольшая численность листового подроста на вырубках бруснично-зеленомошных сосняков говорит о том, что оснований для коренной смены пород недостаточно, однако в будущем на месте их вырубок, возможно, будут образованы смешанные хвойно-лиственные насаждения. Вырубки разнотравных сосняков возобновляются с нежелательной сменой хвойных пород на лиственные.

По значениям индекса жизненного состояния ценопопуляции подроста на исследуемых вырубках были оценены следующим образом: сосняк бруснично-зеленомошный – на пробных площадях 5, 12 и 14 – ценопопуляция здоровая, на пробной площади 1 – ослабленная. В сосняке разнотравном на пробных площадях 6 и 13 – ценопопуляция здоровая; на площади 10 – ослабленная. В сосняке лишайниковом на пробных площадях 4 и 7 – ценопопуляция здоровая, на пробной площади 9 – ослабленная.

Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Успешность естественного возобновления после проведения рубок сосновых насаждений в районе Среднего Приангарья зависит от исходного типа леса. Наибольшее число подроста сосны обыкновенной обнаружено на вырубках бруснично-зеленомошных сосняков – до 15240 шт/га, наименьшее – на вырубках разнотравных сосняков до 3650 шт/га.

2. По количеству подроста на гектаре наибольшая численность принадлежит последующему возобновлению сосны на бруснично-зеленомошных и лишайниковых типах вырубок. Общее количество подроста в этих типах леса составляет от 4,1 до 15,5 тысяч штук на гектаре. Такое количество подроста свидетельствует о хорошем естественном возобновлении, при котором не требуется проведение дополнительных лесокультурных мероприятий.

3. На вырубках бруснично-зеленомошных и лишайниковых сосняков преобладает подрост последующей генерации. На вырубках сосняка разнотравного соотношение подроста предварительной и последующей генераций примерно одинаково, что, учитывая невысокую численность подроста, может свидетельствовать о складывающихся на дан-

ных вырубках неблагоприятных условиях для появления и развития соснового подроста.

4. Восстановление вырубок лишайниковых сосняков протекает без смены пород. Доля листовых пород на вырубках бруснично-зеленомошных сосняков невелика, хотя в будущем на этих площадях могут сформироваться смешанные хвойно-лиственные насаждения. На вырубках разнотравных сосняков преобладают листовые породы.

5. На вырубках разнотравного типа леса возобновление происходит со сменой сосны на осину и березу, количество подроста и характер его размещения на пробных площадях свидетельствует о необходимости дополнительных мероприятий, в частности создания частичных лесных культур сосной и проведения рубок ухода за составом насаждений, предусматривающих удаление нежелательных мелколиственных пород.

6. Большинство ценопопуляций соснового подроста, сформировавшихся на вырубках сосняков в районе исследования, можно отнести к категории здоровых.

7. Динамика зарастания вырубок бруснично-зеленомошных и лишайниковых сосняков показывает в основном увеличение численности подроста на 10–11 годы после вырубки леса. На вырубках разнотравного типа леса наблюдается снижение численности подроста, так как на них практически отсутствуют всходы и новое возобновление не происходит.

Список литературы

1. Маркатиюк А.А. Современное состояние бореальных лесов Восточной Сибири в аспекте естественного возобновления сосны обыкновенной / А.А. Маркатиюк, Е.М. Рунова, И.И. Гаврилин, И.Б. Ведерников // Системы. Методы. Технологии. – 2013. – № 1(17). – С. 163–169.
2. Рунова Е.М. Особенности естественного возобновления при различных технологиях рубок / Е.М. Рунова, В.А. Савченкова // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2007. – № 4(19). – С. 163–169.
3. Рунова Е.М. Влияние эдафических факторов на возобновление сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – важнейшего биологического ресурса Приангарья / Е.М. Рунова, С.В. Шеверда // Вестник ИрГТУ. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. – № 1. – 309 с.
4. Цветков В.Ф. Самовозобновление леса / В.Ф. Цветков. – 2 изд. доп. – Архангельск: Арханг. гос. ун-т, 2009. – 84 с.
5. Побединский А.В. Изучение лесовосстановительных процессов. [Текст] А.В. Побединский. – М.: Наука, 1966. – 64 с.
6. Фарбер С.К. Формирование древостоев Восточной Сибири / С.К. Фарбер; отв. ред. М.А. Софронов; Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 432 с.
7. Галахов Н.Н. Почвы / Н.Н. Галахов // Средняя Сибирь. – М.: Наука, 1964. – С. 83–132.
8. Васильев Я.Я. Леса и лесовозобновление в районах Братска, Усть-Илимска и Усть-Кута / Я.Я. Васильев // Тр. СОПС АН СССР. Серия Сибирская. – 1993. – вып. 2. – 111 с.
9. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. ОСТ 56–69–83. – Введ. 01.01.84. – Центральное бюро НТИ Гослесхоза СССР. – 1983. – 14 с.
10. Злобин Ю.А. Об уровнях жизнеспособности растений / Ю.А. Злобин // Общая биология. – 1981. – № 4. – С. 492–505.

УДК 911.3:314.7

ЭТАПЫ МИГРАЦИОННЫХ ДВИЖЕНИЙ НАСЕЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Аракчеева О.В., Кривдина И.Ю.

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина (Мининский университет)», Нижний Новгород, e-mail: o.v.arakcheeva@rambler.ru

Миграции населения являются важной составной частью человечества. Они известны еще с древних времен. На территории Нижегородской области можно выделить пять этапов миграционных движений населения: дореволюционный, довоенный, советский, постсоветский и современный. Наиболее активно миграционный процесс шел во второй половине XX века: освоение северных и восточных регионов страны, миграция между независимыми постсоветскими государствами. В последнее время объемы миграции замедлили темпы. Это связано с трудностями процесса адаптации мигрантов на новом месте жительства и финансовыми кризисами, которые повлияли на рост безработицы в Нижегородском регионе. Для современного этапа миграций населения характерно решение проблемы легализации мигрантов, а именно получения иностранными гражданами разрешения на работу или патента на осуществление трудовой деятельности.

Ключевые слова: Нижегородская область, миграции населения, нелегальная миграция, иностранная рабочая сила

THE STAGES OF THE MIGRATION MOVEMENTS OF THE POPULATION IN NIZHNY NOVGOROD REGION

Arakcheeva O.V., Krivdina I.Yu.

Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod,
e-mail: o.v.arakcheeva@rambler.ru

Migration of the population is an important part of humanity. They are known since ancient times. five stages of migratory population movements can be identified on the territory of the Nizhny Novgorod area: the pre-revolutionary, pre-war, Soviet, post-Soviet and modern. The most active migration process was in the second half of the twentieth century: the development of the northern and eastern regions of the country, the migration between independent post-Soviet states. In recent years, the volume of migration slowed down. This is due to the difficulties of migrants adaptation process at the new place of residence and financial crises that have affected the growth of unemployment in the Nizhny Novgorod region. The present stage is characterized by population migrations solution legalization of migrants, namely getting foreigners work permit or a patent for carrying out work.

Keywords: Nizhny Novgorod Region, migration, illegal migration, foreign labor

На протяжении всей истории человечества миграции населения являются важной составной частью его жизни. Миграционные движения были на территории Нижегородской области в той или иной мере начиная с Древней Руси. Однако наиболее интенсивно процесс шел в XX веке. Миграции за XX век претерпели значительную трансформацию, поскольку менялась численность, состав мигрантов, направления и причины вызывающие перемещения населения.

Для Нижегородской области по дальности въезда – выезда характерны несколько видов миграций:

1) внутриобластная – она не влияет на изменение численности ее населения, а характеризует обмен населения между городскими и сельскими поселениями, а также между отдельными районами Нижегородской области;

2) межрегиональная (обмен населением с другими регионами Российской Федерации) – достаточно перспективная миграция;

3) миграция со странами ближнего зарубежья (СНГ и Балтии);

4) миграция со странами дальнего зарубежья.

В историческом развитии Нижегородской области можно выделить 5 этапов миграционных движений населения. **Первый этап** (1861–1917 гг.) характерен для дореволюционного периода. В течение этого времени миграционные потоки были направлены в основном из деревень в города Нижегородской области, а из области на восток страны, т.е. преобладали внутриобластная и межрегиональная миграция населения. Хотя было и некоторое переселение в 1914 г. из прифронтовой полосы.

Второй этап (1918–1941 гг.), особенно выделяются миграции 1920-х гг. Это был приток переселенцев из голодных районов степного Поволжья. Закрытость показателей этого периода не позволяет определить масштабы миграции. В 1930-е гг. ведётся активное строительство промышленных предприятий (ГАЗ, Балахнинский целлюлоз-

но-бумажный комбинат, освоение торфяных месторождений) в Нижегородской области в центре Российской Федерации недалеко от Москвы. Это привлекало мигрантов в Нижегородскую область.

В период Великой Отечественной войны предприятия из Нижнего Новгорода не переносились и не размещались эвакуированные из западных регионов, в связи с этим массовые миграции отсутствовали. В послевоенный период начинается восстановление народного хозяйства, что закрепило население на местах на несколько лет. Значительный приток населения был связан со строительством Горьковской ГЭС [1].

Освоение восточных и северных районов дало толчок для миграции населения в эти районы, в том числе и из Нижегородской области. Это является отличительной чертой *третьего этапа* (1960–1991 гг.) миграционных движений. Нижегородская область в этот период была местом оттока мигрантов. Новостройки привлекали людей, имеющих производственный опыт, который был у населения Нижегородской области. В этот период основная миграционная тенденция состояла в постепенном сдвиге населения к периферии страны. Из области люди уезжали осваивать целину, на комсомольские стройки на Север, в Сибирь и Дальний Восток, т.е. миграции, носили «центробежный характер». Значительный отток высококвалифицированных специалистов был связан с развитием центров автомобилестроения в Поволжье (Ульяновск, Тольятти, Набережные Челны).

После распада Советского Союза начинается *четвертый постсоветский этап* миграции населения, в течение которого можно выделить два периода:

- а) первый – с 1991 по 1995 г.,
- б) второй – с 1996 по 2000 г.

В последний период произошел поворот миграций в Нижегородскую область.

Для *первого периода постсоветского этапа* характерным явлением стала миграция из бывших республик СССР. Потoki, которые ранее являлись межреспубликанской миграцией в рамках единой страны, трансформировались в миграцию между независимыми постсоветскими государствами. Наибольший поток мигрантов шел в Россию, часть которых возвращалась в места прежнего проживания, в том числе и в Нижегородскую область. Отток русскоязычного и в целом некоренного населения из бывших республик СССР сопровождался сменой культурной и языковой идентично-

сти, что было отчасти следствием, а отчасти – причиной миграции. Среди мигрантов были не только русские.

В этот период на первый план выходят политические, этнические причины миграции населения, тогда как значимость классических детерминант миграции населения, таких как урбанизация, рынок труда, рост численности населения, падает [2]. Многие не титульные народы, в первую очередь, русские, не могли смириться с этнически выраженными инициативами молодых суверенных государств, ущемляющих права меньшинств. В этот период усиливается геополитическая нестабильность, возникают новые региональные очаги гражданских волнений, межнациональных конфликтов. Большое количество мигрантов в Нижегородскую область дали так называемые «горячие точки»: люди покидали места военных вооруженных конфликтов.

Вынужденная миграция в этот период на фоне усиления экономического застоя была вызвана следующим комплексом факторов:

- пронациональное законодательство в новых государствах, предполагающее дискриминацию нетитульного населения по языковому и национальному признакам;
- резкое снижение уровня жизни за счет трудностей с трудоустройством, в большей степени у лиц не коренных национальностей;
- усиление этнокультурной дистанции;
- высокая конкуренция на рынке труда;
- невозможность дать образование детям.

Во второй половине 1990-х гг. суверенитет в бывших республиках СССР фактически уже утвердился, и многие проблемы стали рассматриваться через призму социально-экономической ситуации, которая в той или иной мере стабилизировалась, поэтому на смену миграции на постоянное место жительства пришла трудовая миграция. Временная миграция населения на работу в менее кризисную Россию, в том числе и Нижегородскую область, дает возможность большего заработка, в том числе и за счет неограниченного рабочего времени. Отсутствие языкового барьера облегчает положение мигранта в местах временной занятости. Большинство российских исследователей и управленцев придерживаются точки зрения о выгоде для России в целом и в частности для Нижегородской области привлечения мигрантов (в том числе и трудовых) из стран бывшего СССР. В немалой мере этому содействует высокая потребность нижегородских предприятий промышленности, строительства, транс-

порта, сельского хозяйства и непроемливой сферы в рабочей силе, кроме того, в условиях сокращения трудовых ресурсов немаловажное значение имеет владение русским языком таких мигрантов, а также их образовательный и профессиональный уровень.

Современные миграции населения Нижегородской области соответствуют *пятому этапу* миграционных движений (2001 – по настоящее время). В этот период объемы миграции замедлили темпы (табл. 1), т.к. уменьшился поток мигрантов, процесс адаптации их на новом месте жительства идет более трудно, да и финансовые кризисы 2008–2009 гг., 2013–2014 гг. повлияли на рост безработицы в самом Нижегородском регионе.

ны и не демаркированы, а общность языка и отсутствие строгих регламентаций при перемещении и найме на работу стимулируют миграцию. Россия является наиболее привлекательной страной для таких мигрантов. Наряду с ростом легальной трудовой иммиграции, в том числе и из стран дальнего зарубежья, в начале 2000-х гг. еще большие масштабы приобрела нелегальная иммиграция, которая стала отличительной чертой современного этапа миграционных движений населения. Поток нелегальных мигрантов был почти лавинообразным и был связан сначала с полным отсутствием миграционной политики в России, а затем несовершенством первых ее вариантов. Рост нелегальных мигрантов поставил задачу создания эффективных рычагов управления миграционным

Таблица 1

Коэффициент миграционного прироста в Нижегородской области на 10 000 человек населения [3]

2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
11	11	13	11	21	20	15	11	21	21	15	5	2

Тем не менее среди приезжающего населения по-прежнему много жителей Средней Азии, Кавказа и Закавказья. Данные переписи 2010 г. свидетельствуют об увеличении армянского населения в Нижегородской области с 1989 г. в 7 раз, таджикского – в 4 раза, азербайджанского – в 2,7 раза, узбекского – в 2,1 раза. По численности населения армянский и азербайджанский этносы заняли пятое и седьмое места из десяти наиболее многочисленных национальностей Нижегородской области, потеснив коренные нерусские народы [4–6].

Следует отметить, что в этот период происходит изменение толерантности местного населения по отношению к мигрантам, особенно не титульных национальностей, в том числе к представителям кавказских национальностей. По результатам социологических опросов и экспедиционных исследований, проводившихся в 2000–2001 гг. сотрудником кафедры экономической географии НГПУ Н.В. Захаровой в сельской местности, и анкетирования мигрантов в Нижнем Новгороде, проведенном автором, было установлено, что отношение местного населения к приезжим изменилось в худшую сторону [7].

Республики бывшего СССР прочно связаны единым экономическим пространством, границы зачастую не делимитирова-

движением населения. С одной стороны, была создана миграционная Программа Правительством России, которая несколько раз пересматривалась с целью совершенствования миграционной политики, с другой стороны, заключались официальные соглашения со странами, откуда шел наибольший поток незаконных мигрантов, о порядке въезда, пребывания и транзитного проезда иностранных граждан на территории РФ. Это еще раз подчеркивает необходимость управления миграционным движением населения. Так в марте 1998 г. в Москве было подписано соглашение о сотрудничестве государств – участников Содружества Независимых государств в борьбе с незаконной миграцией. По этому соглашению, термин «незаконные мигранты» имеет следующее значение: «граждане третьих государств (не являющиеся участниками данного соглашения) и лица без гражданства, нарушившие правила въезда, выезда, пребывания или транзитного проезда через территории Сторон (государств – участников данного Соглашения), а также граждане Сторон, нарушившие правила пребывания на территории одной из Сторон, установленные ее национальным законодательством». Однако это определение практически исключает мигрантов, осуществляющих незаконную трудовую деятельность на территории России. Более полное определе-

ние содержалось в Федеральной миграционной программе, утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации № 1414 от 27 ноября 1997 г., которая была ликвидирована с 2002 г. в связи с преобразованием государственных органов, регулирующих миграцию, и их функций. По этой программе незаконная миграция определялась как «въезд в Российскую Федерацию, пребывание и выезд с ее территории иностранных граждан и лиц без гражданства с нарушением законодательства Российской Федерации, регулирующего порядок въезда, пребывания, транзитного проезда и выезда иностранных граждан, а также произвольное изменение ими своего правового положения в период нахождения на территории РФ» [8].

Проблемы незаконной миграции в Нижегородской области приобретают весьма острый характер. Этому способствуют несовершенство миграционного законодательства и его несогласованность с законодательством соседних государств, включая несогласованность визовых режимов, а также слишком большой рост численности нелегальных мигрантов и трудности в регулировании этого потока. Все чаще отмечаются попытки использовать территорию Нижегородской области для транзита нелегальных мигрантов, в первую очередь в центральные регионы России, а также в страны Западной Европы. Поэтому незаконная миграция стала в последнее время объектом пристального внимания как этих стран, так и международных организаций, в том числе Международной организации по миграции [8].

Среди незаконных мигрантов в Нижегородской области можно выделить две категории. Первая – трудовые мигранты, так называемые «гастарбайтеры», приехавшие на заработки из стран СНГ. Вторая категория – беженцы, прежде всего из стран Центральной Азии.

Основным способом въезда нелегальных мигрантов на территорию Нижегородской области является железнодорожный и автомобильный транспорт. Обычно они едут

к уже обосновавшимся в регионе родственникам и знакомым, срабатывает так называемый эффект «цепной реакции». Здесь они вливаются в достаточно мощную диаспору своих соотечественников, которые помогают им адаптироваться, порой в обход законов, либо вовремя выполнить все требования, касающиеся временной регистрации.

На протяжении всего современного этапа остро встает проблема легализации незаконной трудовой деятельности мигрантов. Вплоть до 2011 г. Федеральной миграционной службой разрабатывались сведения об иностранных рабочих, осуществляющих трудовую деятельность в установленном порядке, которые основывались:

– на выданных разрешениях на работу для иностранных граждан из стран с визовым порядком въезда (из стран дальнего зарубежья, Туркмении, а с 2009 г. – Грузии);

– на уведомлениях, полученных от работодателей, привлекающих иностранных работников – граждан стран СНГ с безвизовым порядком въезда в Россию (Азербайджана, Армении, Казахстана, Киргизии, Молдовы, Таджикистана, Узбекистана, Украины), кроме Белоруссии, образующей союзное государство с Россией;

– на выданных разрешениях на работу лицам без гражданства [9].

Анализируя данные по численности иностранных граждан, имеющих действующее разрешение на работу (табл. 2) или патент на осуществление трудовой деятельности (табл. 3), можно сделать вывод о резком сокращении этих категорий мигрантов в Нижегородской области к 2015 г. Это во многом связано с ухудшением экономической ситуации и снижением уровня оплаты труда в валютном выражении.

Несмотря на уменьшение количества иностранных трудовых мигрантов из стран ближнего зарубежья, они сумели достаточно хорошо адаптироваться к жизни в регионе, заняв своеобразные «экономические ниши» на рынке труда и влившись в новую культурную среду.

Таблица 2

Численность иностранных граждан, имевших действующее разрешение на работу* в Нижегородской области [3]

2011		2012		2013		2014		2015**	
чел.	%	чел.	%	чел.	%	чел.	%	чел.	%
13855	1,3	17109	1,5	19225	1,7	13625	1,3	2024	1,1

Примечание. *По данным Министерства внутренних дел Российской Федерации; **данные приведены по лицам, прибывшим в визовом порядке въезда.

Таблица 3

Численность иностранных граждан, имевших действующий патент на осуществление трудовой деятельности* в Нижегородской области (на конец года) [3]

2013		2014		2015	
чел.	%	чел.	%	чел.	%
16961	1,5	22913	1,1	21748	1,3

Примечание. *По данным Министерства внутренних дел Российской Федерации. Данные приведены по лицам, прибывшим в безвизовом порядке въезда.

Таким образом, можно сделать вывод, что на протяжении всего исторического развития, а в последнее время наиболее активно Нижегородская область участвует в миграционном обмене населением, как с другими регионами Российской Федерации, так и с другими странами.

Список литературы

1. Вознесенская А.Г., Аракчеева О.В. Население Нижегородской области: динамика численности, естественное и механическое движения // Вестник Мининского университета: сетевое издание. – 2013. – № 4 [Электронный ресурс]. – URL: <http://vestnik.mininuniver.ru/reader/archive/?year=2013&issue=4> (дата обращения: 10.03.2017).
2. Миграционная ситуация в странах СНГ / Ред. Ж.А. За-йончковская. – М.: Комплекс – Прогресс, 1999. – 286 с.
3. Регионы России. Социально-экономические показатели, 2016 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b16_14p/IssWWW.exe/Stg/d01/02-17.doc (дата обращения: 17.03.2017).
4. Всероссийская перепись населения 2002 года: На-селение по национальности и владению русским языком по субъектам РФ [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.perepis2002.ru/index.html> (дата обращения: 17.03.2017).
5. Всероссийская перепись населения 2010 года. Официальные итоги с расширенными перечнями по на-циональному составу населения и по регионам [Электрон-ный ресурс]. – URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/results2.html (дата обращения: 17.03.2017).
6. Официальный сайт Всероссийской переписи на-селения 2010 года. Информационные материалы об окон-чательных итогах Всероссийской переписи населения 2010 года [Электронный ресурс]. – URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/perepis_itogi1612.html (дата обращения: 17.03.2017).
7. Захарова Н.В. Формирование социо-культурного пространства Нижегородской области: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – СПб., 2003. – 24 с.
8. Тюрюканова Е. Мигранты на неформальном рынке тру-да в Москве // Проблема незаконной миграции в России: реалии и поиск решений (по итогам социологического обследования) / МОМ, Бюро МОМ в России. – М.: Гендальф, 2004. – 520 с.
9. Щербакова Е. Миграция в России, предваритель-ные итоги 2015 г. // ДемоскопWeekly. № 681 – 682 (4–17 апреля 2016 г.) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2016/0681/barom03.php> (дата обраще-ния: 24.03.2017).

УДК 912.43

**ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА РАСЩЕПЛЁННОГО ОКНА ПРОЗРАЧНОСТИ
ДЛЯ РАСЧЁТА ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ
МАТЕРИАЛОВ ТЕПЛОВОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ****¹Зареи С.А., ²Насири А.М., ¹Щербаков В.М., ³Широкова В.А.**¹СПбГУ «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург,
e-mail: zareie_sajad@yahoo.com, vs1670@yandex.ru;²ГУЗ «Государственный университет по землеустройству», Москва, e-mail: abuzarnasiri@gmail.com;³Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, Москва,
e-mail: shirocova@gmail.com

С помощью теплового дистанционного зондирования может быть выполнено картографирование распределения температуры земной поверхности (ТЗП). Вычисление значений ТЗП с использованием методов дистанционного зондирования является важным вопросом в метеорологических и климатологических исследованиях. В данной статье рассмотрен вопрос применения данных тепловой съёмки Landsat-8 для расчёта ТЗП на аридных территориях с использованием алгоритма расщеплённого окна прозрачности. В качестве тестовой территории использован полигон, расположенный в провинции Хузестан (Иран, в пределах сцены p165 r38). В качестве вспомогательных данных использованы нормализованный разностный вегетационный индекс, фракционный коэффициент растительного покрова. Результаты расчётов ТЗП были оценены с использованием температурных данных, измеренных на метеорологических станциях, расположенных на исследуемой территории. В результате проведённых оценок средняя квадратическая ошибка в контрольных точках не превысила 2 °C. Результаты исследования показали, что алгоритм расщеплённого окна прозрачности может быть использован при решении ряда научных и производственных задач на аридных территориях.

Ключевые слова: Landsat-8, тепловая съёмка, алгоритм расщепленного окна прозрачности**SPLIT WINDOW ALGORITHM APPLIED TO LAND SURFACE TEMPERATURE
(LST) COMPUTATION BASING ON THERMAL SATELLITE IMAGERY****¹Zareie S.A., ²Nasiri A.M., ¹Scherbakov V.M., ³Shirokova V.A.**¹Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, e-mail: zareie_sajad@yahoo.com, vs1670@yandex.ru;²State University of Land Use Planning, Moscow, e-mail: abuzarnasiri@gmail.com;³S.I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, e-mail: shirocova@gmail.com

Using thermal remote sensing can perform mapping of spatial distribution of the land surface temperature (LST). Estimation of the LST on the basis of remote sensing data is an important issue in meteorological and climatological studies. This article describes application of Landsat-8 thermal imagery to LST estimation in arid areas using split window algorithm. Khuzestan province (Iran, within the scene p165 r38) was selected as ground test area. Normalized Difference Vegetation Index and Fractional Vegetation Cover were used as algorithm supporting datasets. The results of LST estimation were assessed using temperature data measured at meteorological stations located in the study area. In the result of accuracy assessment, root mean square error at the control points did not exceed 2 °C. Study results show that the split window algorithm can be used to solve of scientific and industrial tasks in arid areas.

Keywords: Landsat-8, thermal remote sensing, split window algorithm

С использованием теплового инфракрасного излучения, отражаемого и излучаемого земной поверхностью, можно оценить температуру земной поверхности (ТЗП), которая является важным параметром при оценке биологических, химических и физических процессов. Данные о температуре поверхности используются в моделировании глобальных изменений климата, городском землепользовании, гидрологических, метеорологических, биогеохимических, экологических, сельскохозяйственных исследованиях и др. [1]. Важность изучения ТЗП состоит в том, что многие изменения

в географической оболочке обусловлены изменениями температуры.

Тепловое дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) позволяет производить расчётную оценку температуры поверхности, для чего может быть использован ряд методов, различающихся в том числе по точности оценки. Вместе с тем тепловое ДЗЗ обеспечивает уникальную возможность получения данных о ТЗП в региональном и глобальном масштабах с достаточно высоким временным и пространственным разрешением, в том числе данных о временной и пространственной динамике поверхности [2].

Аппарат Landsat-8 оснащён двумя сканирующими радиометрами (OLI и TIRS), первый из которых собирает данные с пространственным разрешением 15 (панхроматический канал) и 30 метров в девяти спектральных каналах в видимой, ближней инфракрасной и коротковолновой инфракрасной областях электромагнитного спектра, а второй – данные в двух каналах теплового инфракрасного диапазона (канал 10, 10,6–11,2 мкм и канал 11, 11,5–12,5 мкм). Наличие двух тепловых каналов, регистрируемых с пространственным разрешением 100 м, позволяет реализовать один из алгоритмов оценки ТЗП, называемый алгоритм расщепленного окна прозрачности, который характеризуется в публикациях как сравнительно высокоточный [5].

Материалы и методы исследования

Восточная часть провинции Хузестан на юго-западе Ирана (30°40'54"–32°47'25" с.ш., 48°08'03"–50°32'47" в.д.), выбранная в качестве тестового полигона для проведения исследования, относится к аридным регионам. Территория характеризуется высокими суточными и сезонными изменениями температуры и высокими значениями температуры весной и летом, которые являются ключевым фактором формирования растительного покрова в регионе [3]. Район исследования перекрывается сценой p165 r38 съёмки Landsat-8 (рис. 1).

Реализация алгоритма расщепленного окна прозрачности подразумевает выполнение радиометрической и атмосферной коррекции, которые были выполнены в пакете ENVI 5.1, и выполнение подготовительных

процедур, таких как расчет радиационной температуры на основе тепловых каналов и расчёт излучательной способности земной поверхности для тепловых каналов на основе красного и ближнего инфракрасного спектральных каналов (рис. 2).

Поскольку, как и в других подобных алгоритмах, радиационная температура вычисляется с использованием идеальной модели (абсолютно черного тела), необходима коррекция полученных значений с учётом характера изучаемой поверхности. В соответствии с алгоритмом расщепленного окна прозрачности, ТЗП вычисляется с использованием уравнения, связывающего значения радиационных температур BT , вычисленных по данным двух соседних тепловых каналов и значений излучательной способности земной поверхности, вычисленной для этих каналов [5]:

$$TЗП = BT_{10} + C_1(BT_{10} - BT_{11}) + C_2(BT_{10} - BT_{11})^2 + C_0 + (C_3 + C_4W) \times (1 - \varepsilon) + (C_5 + C_6W)\Delta\varepsilon, \quad (1)$$

где W – содержание водяного пара в атмосфере $0,053 \text{ г} \times \text{см}^{-2}$ (содержание водяного пара в атмосфере рассчитано с использованием модели атмосферы MODTRAN), $\varepsilon = (\varepsilon_{10} + \varepsilon_{11})/2$, ε_{10} и ε_{11} – растрсы излучательной способности земной поверхности, полученные по каналам 10 и 11, BT_{10} и BT_{11} – радиационные температуры каналов 10 и 11, измеряемые в кельвинах, $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{10} - \varepsilon_{11}$. Коэффициенты уравнения: $C_0 = -0,268$, $C_1 = 1,378$, $C_2 = 0,183$, $C_3 = 54,300$, $C_4 = -2,238$, $C_5 = -129,200$, $C_6 = 16,400$.

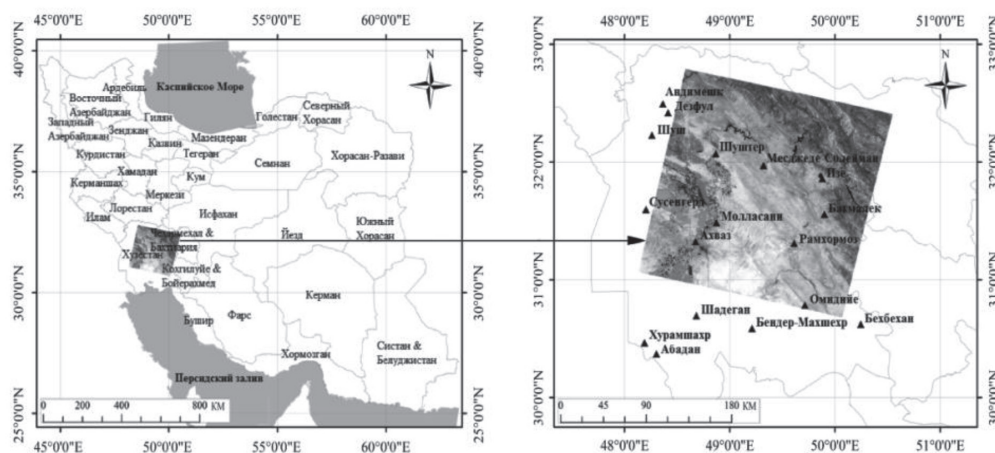


Рис. 1. Географическое положение исследуемой территории

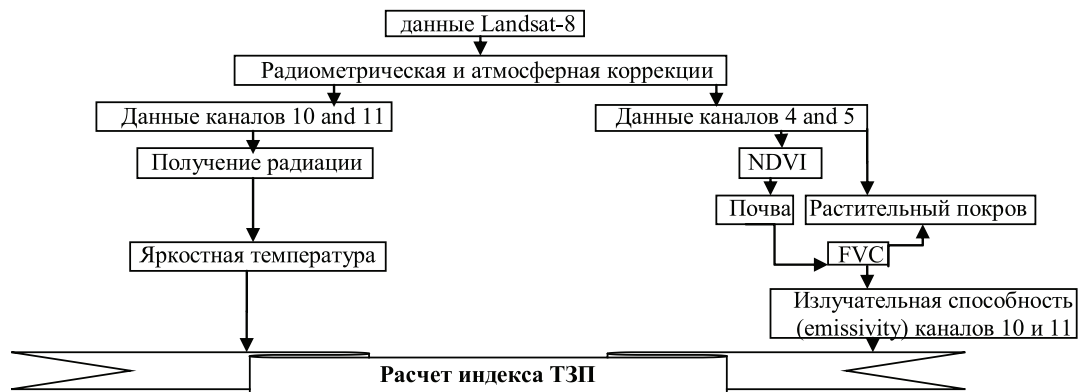


Рис. 2. Алгоритм расчета ТЗП

Данное уравнение (1) основано на математических построениях [5] и применяется при обработке данных, получаемых с различных сенсоров. Его можно использовать для исследований, в том числе аридных территорий. Коэффициенты уравнения вычисляются статистическими методами, используемыми при моделировании базы данных. При моделировании учитываются характеристики атмосферы в момент зондирования (применяются модельные расчёты MODTRAN).

Значения радиационной температуры (температуры абсолютно черного тела) вычисляются на основе значений спектральной яркости [7]:

$$BT = \frac{K_2}{\ln \left[(K_1 / L_\lambda) + 1 \right]}, \quad (2)$$

где K_1 (774,89 для канала 10 и 480,89 для канала 11) и K_2 (1321,08 для канала 10 и 1201,14 для канала 11) – калибровочные коэффициенты, обычно указываемые в метаданных снимков, L_λ – спектральная яркость измеряемая в Вт/(м²×ср×мкм).

Спектральная яркость – это значение суммарной энергии, регистрируемой спутниковым датчиком. Преобразование целочисленных значений каналов снимка в значения спектральной яркости для Landsat-8 выполняется следующим образом [7]:

$$L_\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L, \quad (3)$$

где M_L (0,000342 для 10 и 11 каналов) и A_L (0,1 для 10 и 11 каналов) – калибровочные коэффициенты, обычно указываемые в метаданных снимков, Q_{cal} – целочисленные значения каналов снимка.

Излучательная способность земной поверхности (Land Surface Emissivity) – это коэффициент, показывающий отношение (спектральной) яркости земной поверхно-

сти к (спектральной) яркости абсолютно чёрного тела. Основными методами расчета излучательной способности являются: метод на основе классификации [4], метод на основе нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI [6] и метод на основе независимых спектральных индексов дневной и ночной температуры [8].

Почвенный и растительный покров различаются по излучательной способности, в том числе в зависимости от пропорционального отношения площадей открытой почвы и сомкнутой растительности. Излучательная способность земной поверхности может быть оценена на основе номинальных значений излучательной способности растительности и почвы, и фракционного коэффициента растительного покрова FVC (Fractional Vegetation Cover), по следующей формуле [7]:

$$\varepsilon = \varepsilon_s * (1 - FVC) + \varepsilon_v * FVC, \quad (4)$$

где ε_s (0,971 для канала 10 и 0,977 для канала 11) и ε_v (0,987 для канала 10 и 0,989 для канала 11) – излучательные способности растительности и почвы соответственно, FVC – фракционный коэффициент растительного покрова.

FVC показывает пропорциональное соотношение площадей различных типов растительного покрова в каждой ячейке снимка, в данном случае, соотношение площадей оголённого почвенного покрова и растительного покрова. Оценка выполняется с учётом значений NDVI для оголённой почвы и плотного растительного покрова по следующей формуле [7]:

$$FVC = (NDVI - NDVI_s) / (NDVI_v - NDVI_s), \quad (5)$$

где $NDVI_s$ – $NDVI$ оголённой почвы (0,2) и $NDVI_v$ – $NDVI$ плотной растительности (0,8).

Методы на основе классификации и независимых спектральных индексов дневной и ночной температуры ограничены рядом дополнительных требований, в связи с чем в данном исследовании использован метод на основе *NDVI*. Индекс вычислялся на основе значений спектральной яркости красного (*RED*) и ближнего инфракрасного (*NIR*) каналов снимка, к которым была применена атмосферная коррекция, по стандартной формуле [7]:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED). \quad (6)$$

Результаты исследования и их обсуждение

Вычисление ТЗП и построение карт ТЗП (рис. 3) с использованием снимков Landsat-8 были автоматизированы в ArcGIS. В табл. 2 показаны температуры поверхности, рассчитанные в контрольных точках.

Оценка точности полученных результатов выполнена с использованием данных о приземной температуре воздуха, собранных на метеорологических станциях, расположенных на исследуемой территории. Данные получены из метеорологического бюро провинции Хузестан. В табл. 1 представлены координаты использованных станций (рис. 1).

В качестве параметров оценки точности использованы средние квадратические ошибки (СКО) и коэффициенты детерминации (R^2), рассчитанные для результатов оценки ТЗП по данным Landsat-8 (табл. 2).

Использованные в работе снимки подобраны с учётом доступности наземных метеорологических данных. Использованы среднесуточные значения приземной температуры воздуха, зафиксированные на метеорологических станциях. При определении значений температуры по данным Landsat-8 использовались значения ТЗП, зафиксированные в пикселях снимка, совпадающих с положением метеостанций. Интерполяция по соседним пикселям не применялась.

Результаты оценки точности, представленные в табл. 2 демонстрируют значения СКО в пределах 2°C и значения R^2 не ниже 0,841. Другими словами, значения ТЗП, определённые по спутниковым данным, имеют хорошую сходимость с фактическими значениями среднесуточной приземной температуры воздуха, определёнными в результате наземных измерений. Полученные расхождения между фактическими и расчетными температурами являются приемлемыми для многих предметных областей.

Таблица 1

Координаты метеорологических станций на исследуемой территории

Метеостанция	Широта	Долгота
Ахваз	$31^\circ 20' 40,48''$ с.ш.	$48^\circ 44' 38,14''$ в.д.
Шуштер	$32^\circ 04' 16,79''$ с.ш.	$48^\circ 52' 05,27''$ в.д.
Месджед-Солейман	$31^\circ 58' 15,28''$ с.ш.	$49^\circ 19' 16,14''$ в.д.
Изе	$31^\circ 51' 40,46''$ с.ш.	$49^\circ 52' 46,38''$ в.д.
Молласани	$31^\circ 29' 08,38''$ с.ш.	$48^\circ 52' 26,36''$ в.д.
Рамхормоз	$31^\circ 18' 38,52''$ с.ш.	$49^\circ 36' 47,63''$ в.д.
Багмалек	$31^\circ 33' 24,55''$ с.ш.	$49^\circ 53' 57,55''$ в.д.

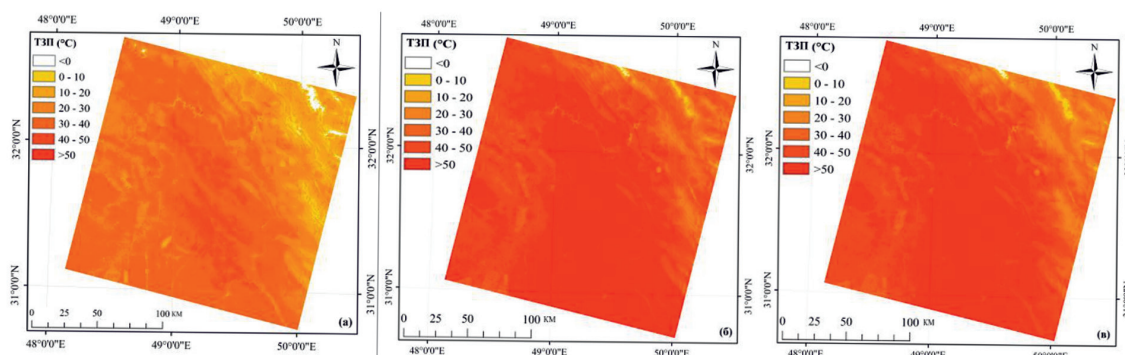


Рис. 3. Карты температуры земной поверхности за (а) 18.05.2013, (б) 21.05.2014 и (в) 24.05.2015

Таблица 2

Температуры (°C), вычисленные на основе данных Landsat-8 и полученные в результате наблюдений на метеорологических станциях

Ключевые точки	Ахваз	Шуштер	Месдже-Сoleyман	Изе	Молласани	Рамхормоз	Багмалек	СКО	R ²
Радиационная температура канала 10 (BT ₁₀) 18.05.2013	31,96	37,02	34,81	26,92	25,84	38,73	30,45	–	–
Радиационная температура канала 11 (BT ₁₁) 18.05.2013	32,13	37,19	34,97	27,23	26,11	38,89	3,64	–	–
Температура по данным Landsat-8 18.05.2013	31,13	36,63	34,10	26,47	25,45	38,12	29,95	1,86	0,841
Температура по данным метеостанций 18.05.2013	33,00	34,50	34,00	26,50	29,00	36,50	29,00	–	–
Радиационная температура канала 10 (BT ₁₀) 21.05.2014	35,73	38,39	47,13	39,65	34,21	48,79	45,53	–	–
Радиационная температура канала 11 (BT ₁₁) 21.05.2014	35,90	38,61	47,29	39,79	34,37	48,93	45,71	–	–
Температура по данным Landsat-8 21.05.2014	35,27	37,94	46,82	39,17	33,82	48,48	45,15	1,61	0,978
Температура по данным метеостанций 21.05.2014	34,00	36,50	43,50	38,50	33,00	47,50	44,00	–	–
Радиационная температура канала 10 (BT ₁₀) 24.05.2015	34,84	42,73	42,42	36,80	38,28	46,43	39,24	–	–
Радиационная температура канала 11 (BT ₁₁) 24.05.2015	34,98	42,89	42,67	37,05	38,46	46,65	39,40	–	–
Температура по данным Landsat-8 24.05.2015	34,59	42,39	42,18	36,57	37,98	46,09	38,91	1,39	0,991
Температура по данным метеостанций 24.05.2015	33,00	33,00	40,50	35,50	36,00	45,50	37,50	–	–

В соответствии с построенными картами ТЗП, температуры ниже 0°C фиксируются только для снежного покрова в горах Загрос. В остальных случаях, для водных массивов, растительного покрова и открытых грунтовых поверхностей температуры положительны, что характерно для данного региона.

Таким образом, полученные результаты демонстрируют возможность проведения оценки температуры земной поверхности (либо приземной температуры воздуха, если требуется её приближенная оценка) в аридных районах с достаточно высокой точностью. Вместе с тем, учёт различий излучательной способности большего числа типов земной поверхности, таких как водные объекты, ледники, различные типы растительности и почвы, вероятно, мог бы усовершенствовать применённый метод.

Заключение

В рамках данного исследования выполнены расчет ТЗП и построение карт ТЗП на

основе данных тепловой съёмки Landsat-8 с использованием алгоритма расщепленного окна прозрачности, а также оценка точности полученных результатов с использованием данных наземных наблюдений на метеорологических станциях. Для повышения точности оценки ТЗП по материалам спутниковой тепловой съёмки в использованном алгоритме применено вычисление значений излучательной способности земной поверхности для двух характерных для исследуемого региона типов покрова, растительности и оголённых почв. Результаты исследования показывают достаточно высокую сходимость оценок ТЗП по данным спутниковой съёмки с данными наземных измерений приземной температуры воздуха, зафиксированными на метеорологических станциях.

Таким образом, рассмотренные в работе алгоритм и данные могут быть в дальнейшем использованы для проведения оценки и мониторинга ТЗП на исследуемой территории (юго-запад Ирана, восточная часть

провинции Хузестан). Вероятно, точность применённого алгоритма может быть повышена за счёт более диверсифицированной оценки излучательной способности различных типов земной поверхности, и включения других типов поверхности помимо растительного покрова и открытых грунтов. Аналогичная диверсификация, вероятно, необходима в случае применения алгоритма для изучения ландшафтов других типов, так как исследованные в работе аридные ландшафты, в целом характеризуются достаточно высокой однородностью покрова. Будущие исследования должны быть направлены в том числе на дальнейшее повышение точности оценок ТЗП.

Список литературы

1. Avdan U., Jovanovska G. Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data // *Journal of Sensors*. – 2016. – Vol. 2016. Article ID 1480307. 8 p. doi:10.1155/2016/1480307.
2. Dash P., Gottsche F.M., Olesen F.S., Fischer H. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: theory and practice-current trends // *International Journal of Remote Sensing*. – 2002. – Vol. 23. – № 13. – P. 2563–2594.
3. Dehghan A.A. Status and potentials of renewable energies in Yazd Province-Iran // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2011. – Vol. 15. – Issue 3. – P. 1491–1496.
4. Gillespie A., Rokugawa S., Matsunaga T., Cothren J.S., Hook S., Kahle A.B. A temperature and emissivity separation algorithm for advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) images // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 1998. – Vol. 36. Issue 4. – P. 1113–1126.
5. Jmenez-Munoz J.C., Sobrino J.A., Skokovic D., Matarr C., Cristobal J. Land Surface Temperature Retrieval Methods From Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data // *IEEE geosciences and remote sensing letters*. – 2014. – Vol. 11. – Issue 10. – P. 1840–1843.
6. Momeni M., Saradjian M. Evaluating NDVI-based emissivities of MODIS bands 31 and 32 using emissivities derived by day/night LST algorithm // *Remote Sensing of Environment*. – 2007. – Vol. 106. – Issue 2. – P. 190–198.
7. Rajeshwari A., Mani N.D. Estimation of Land Surface Temperature of Dindigul District Using Landsat 8 Data // *International Journal of Research in Engineering and Technology*. – 2014. – Vol. 3. – Issue 5. – P. 122–126.
8. Yu X., Guo X., Wu Z. Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 TIRS – Comparison between Radiative Transfer Equation-Based Method, Split Window Algorithm and Single Channel Method // *Remote Sensing*. – 2014. – Vol. 6. – P. 9829–9852.

УДК 551.242.11: 552.5

**ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ
ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНО-САХАЛИНСКОГО ТЕРРЕЙНА
ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ****Малиновский А.И.***ФАНО ФГБУН Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения
Российской академии наук, Владивосток, e-mail: malinovsky@fegi.ru*

В статье рассматриваются результаты изучения геохимического состава терригенных пород из меловых отложений Западно-Сахалинского террейна, а также дана его палеогеодинамическая интерпретация. Проведенные исследования показали, что по своим параметрам породы наиболее соответствуют грауваккам и являются петрогенными. Они характеризуются невысокой степенью зрелости обломочного материала, при этом содержат как фрагменты основных вулканических пород, так и сиалическую кластику. Палеогеодинамическая обстановка формирования отложений Западно-Сахалинского террейна наиболее соответствует бассейну активной континентальной окраины андийского типа, осложненной сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам. Область питания, поставлявшая обломочный материал в этот бассейн, объединяла древнюю сиалическую сушу, сложенную гранитно-метаморфическими породами, и зрелую глубоко расчлененную энциалическую дугу, в которой эрозия вскрыла гранитоидные батолиты, подстилавшие вулканы.

Ключевые слова: Западно-Сахалинский террейн, геохимия, геодинамические обстановки, мел, песчаники**PALEOGEODYNAMIC SETTINGS OF THE WEST SAKHALIN TERRAIN
SEDIMENTS FORMATION BASED ON GEOCHEMICAL DATA****Malinovskiy A.I.***Far East Geological Institute Far East Branch Russian Academy of Sciences, Vladivostok,
e-mail: malinovsky@fegi.ru*

The results of the geochemical composition study of the terrigenous rocks from the Cretaceous deposits of the West-Sakhalin terrane and their paleogeodynamic interpretation are considered in the article. Based on their peculiarities, the rocks are best matched to greywacke, being petrogenic. They are characterized by a low maturity of clastic material, in such a way they contain fragments of both basic and felsic rocks. Paleogeodynamic depositional environment of the West-Sakhalin terrane best corresponds to an active continental margin basin of Andean-type complicated by strike-slip dislocations along the transform faults. The feeding source for this basin includes the granite-metamorphic rocks of the ancient sialic land and mature deeply dissected ensialic arc in which erosion exposed granitoid batholiths underlying volcanics.

Keywords: West Sakhalin terrain, geochemistry, geodynamic settings, Cretaceous, sandstones

Проведенные в последние десятилетия рядом российских и зарубежных авторов исследования древних терригенных пород и современных осадков позволили установить существование тесной связи между их геохимическим составом и геодинамическими обстановками бассейнов седиментации, а также типом и породным составом областей питания, поставлявших обломочный материал в эти бассейны [2–5, 8–14]. Целью проведенных исследования являлось изучение геохимического состава терригенных пород мела Западно-Сахалинского террейна и его палеогеодинамической интерпретации.

В основу исследований положен обширный оригинальный материал, полученный в результате изучения содержания и характера распределения петрогенных и редких элементов в песчаных и глинисто-алевритовых породах мела Западно-Сахалинского террейна. Каменный материал был собран из естественных обнажений, располагаю-

щихся в береговых обнажениях рек, на побережье Татарского пролива, а также вдоль автомобильных дорог. Содержания петрогенных элементов определены с использованием атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 6500 Duo. Концентрации редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) определены методом плазменной спектроскопии (ICP-MS) на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500с. Все анализы выполнены в лабораториях Аналитического центра (ЦКП) ДВГИ ДВО РАН.

Региональная геологическая позиция

Западно-Сахалинский террейн входит в состав мезозойско-кайнозойского Сахалинско-Камчатского орогенного пояса и является одной из главнейших тектонических структур зоны перехода от Тихого океана к Азиатскому континенту [1]. Террейн располагается на территории Западно-Саха-

линских гор, протягиваясь полосой вдоль побережья Татарского пролива на 650 км (рис. 1). Границами его являются Западно-Сахалинская и Тымь-Поронайская системы разломов. Южным его продолжением является пояс Сорачи-Йезо на о. Хоккайдо [1]. В строении террейна принимают участие в различной степени дислоцированные и хорошо датированные берриас-датские отложения, с разрывом, но без углового несогласия перекрывающиеся кайнозойскими образованиями [4]. Следует отметить, что отложения, расположенные к северу и югу от широты г. Углегорска, отличаются между собой как по мощностям, так и по фаци-

альным обстановкам осадконакопления. Отложения южной части террейна имеют мощность до 5500 м и представлены преимущественно морскими глубоководными терригенными образованиями. Отложения северной части характеризуются почти двукратным увеличением мощности отложений (до 9000 м), а также накоплением осадков как в мелководно-морских, так и в глубоководных обстановках подводного континентального склона, его подножья и прилегающих участков бассейновой равнины. Следует отметить минимальное влияние на процессы осадконакопления синхронного андезито-базальтового вулканизма.

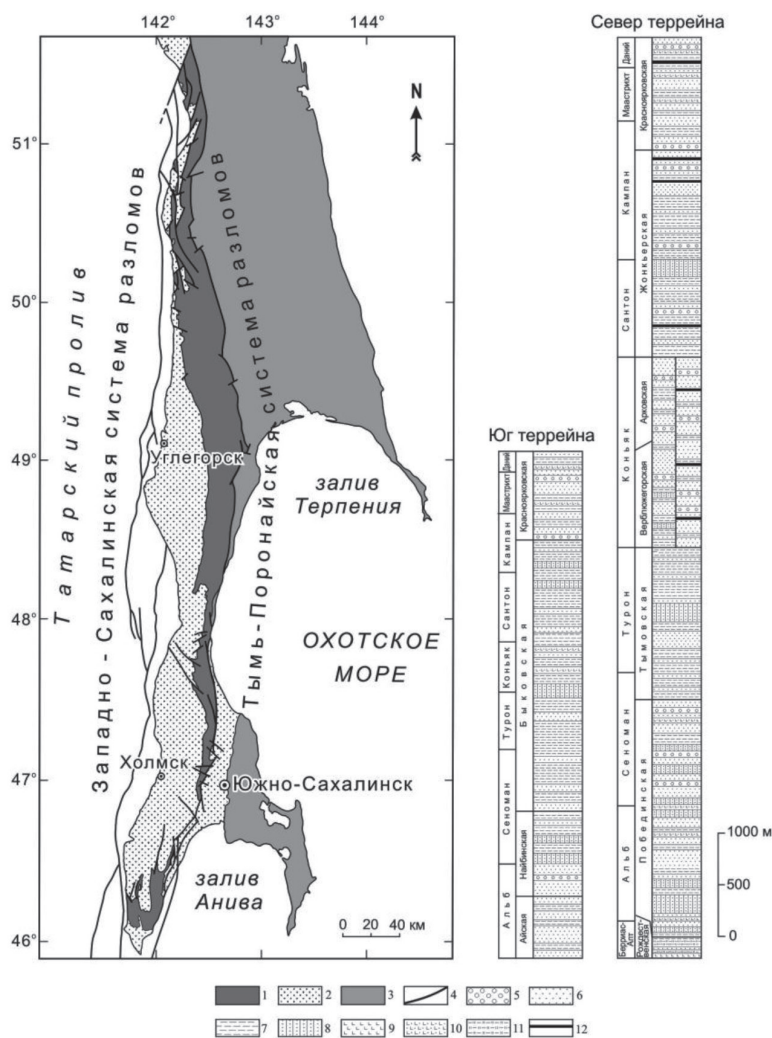


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Западно-Сахалинского террейна и литолого-стратиграфические колонки его южной и северной частей. Для карты: 1 – меловые терригенные образования; 2 – палеоцен-плиоценовые терригенные и вулканогенные образования; 3 – террейны и перекрывающие комплексы Восточного Сахалина; 4 – разломы. Для колонок: 5 – конгломераты и гравелиты; 6 – песчаники; 7 – алевриты и аргиллиты; 8 – ритмичное переслаивание песчаников и алевритов; 9 – базальты; 10 – туфы и туффиты; 11 – кремнистые и кремнисто-глинистые породы; 12 – угли

Геохимический состав терригенных пород

Для геохимической характеристики пород используются средние содержания порообразующих оксидов, редких и редкоземельных элементов (РЗЭ), сгруппированные по существующим стратиграфическим подразделениям.

По химическому составу песчаники мела Западно-Сахалинского террейна довольно однородны. Отмечаются лишь несколько более высокие содержания кремнекислоты в породах его северной части, которые варьируют от 65,54% до 75,70%. В породах южной части содержания SiO_2 ниже и изменяются от 64,74% до 70,24%. Вместе с тем в породах северной части террейна ниже содержания TiO_2 (0,43–0,64% и 0,49–0,71% соответственно), Al_2O_3 (11,67–14,81% и 13,99–15,40%), $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (1,33–5,30% и 3,50–5,91%), MgO (0,69–1,88% и 1,01–1,11%), CaO (1,12–1,74% и 1,19–2,87%), Na_2O (2,18–3,62% и 3,02–3,98%) и K_2O (1,43–2,99% и 2,28–2,71%). Кроме того, все песчаники характеризуются свойственным для граувакк преобладанием Na_2O над K_2O . По своим геохимическим параметрам песчаники относятся к типичным грауваккам и лишь незначительная их часть характеризуется

как лититовые арениты (рис. 2) [6]. Глинисто-алевритовые породы по химическому составу близки к песчаникам, отличаясь от них меньшими содержаниями SiO_2 (62,84–66,94% в северной части и 63,56–64,92% – в южной), CaO (0,28–1,92% и 0,95–2,38%) и Na_2O (1,57–2,55% и 2,13–3,42%), но большими – TiO_2 (0,63–0,76% и 0,59–0,66), Al_2O_3 (15,32–16,92%), $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (3,01–5,66% и 4,85–5,88%), MgO (0,88–2,44% и 1,72–2,15%) и K_2O (2,75–3,70% и 2,20–2,91%). Кроме того, в них K_2O , как правило, преобладает над Na_2O .

Для получения объективных выводов об интенсивности и направленности процессов выветривания материнских пород в областях сноса, петрогенной или литогенной природе осадков, а также корректных палеореконструкций условий и обстановок осадконакопления, использован ряд петрохимических модулей [8]. По этим показателям терригенные породы террейна близки друг другу и характеризуются:

1) невысокими значениями гидролизатного модуля ($\text{ГМ} = (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO})/\text{SiO}_2$, в среднем по свитам 0,18–0,31), свидетельствующими об их образовании за счет механического разрушения материнских пород при подчиненной роли химического выветривания;

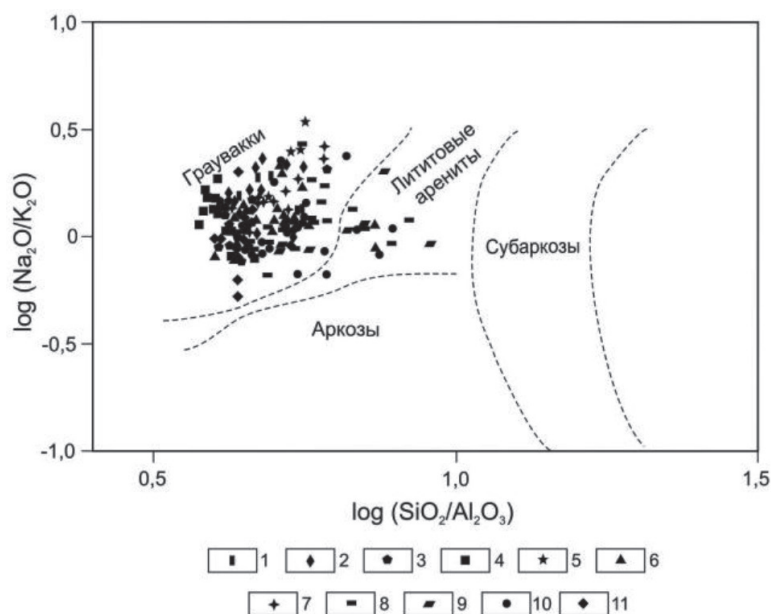


Рис. 2. Классификационная диаграмма состава песчаных пород Западно-Сахалинского террейна (частные значения) [6]. 1–11 – свиты: 1–4 – южная часть террейна: 1 – айская, 2 – найбинская, 3 – быковская, 4 – красноярковская; 5–11 – северная часть террейна: 5 – рождественская толща, 6 – побединская, 7 – тымовская, 8 – верблюжегорская, 9 – арковская, 10 – джонкьерская, 11 – красноярковская

2) уровнем фемичности ($ФМ = (Fe_2O_3 + FeO + MnO + MgO)/SiO_2$, в среднем 0,06–0,13), соответствующем граувакками,

3) невысокой титанистостью ($ТМ = TiO_2/Al_2O_3$, в среднем 0,034–0,046), но повышенной нормативной щелочностью ($НКМ = (Na_2O + K_2O)/Al_2O_3$, в среднем 0,34–0,45), что связано, с одной стороны, с присутствием в породах островодужной вулканокластике низкотитанистых (но высокоглиноземистых) серий, а с другой – обломков кислых изверженных пород.

Изучение содержания и характера распределения редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) в терригенных породах также крайне важно, поскольку они несут достаточно объективную информацию о составе областей питания и геодинамических обстановках формирования бассейнов седиментации. Суммарные содержания РЗЭ в западно-сахалинских песчаниках относительно невелики (в среднем по свитах от 82 г/т до 139 г/т). Спектры их распределения характеризуются умеренной степенью фракционирования с невысоким отношением легких лантаноидов к тяжелым ($La_N/Yb_N = 5,79–12,15$), а также отчетливо выраженной отрицательной европиевой аномалией ($Eu/Eu^* = 0,68–0,84$) (рис. 3, а). По сравнению с постархейским австралийским средним глинистым сланцем (РААС) [7], все песчаники незначительно обеднены как легкими, так и тяжелыми элементами (в 1,1–2,8 раза). В глинисто-алевритовых породах суммарный уровень концентрации РЗЭ несколько выше и находится в пределах 104–164 г/т, общий же характер распределения в целом аналогичен таковому в песчаниках ($La_N/Yb_N = 6,17–11,19$,

$Eu/Eu^* = 0,59–0,84$) (рис. 3, б). По сравнению с РААС содержания большинства РЗЭ ниже (до 1,9 раза), и лишь в некоторых свитах Sm, Eu, Gd, Er, Tm и Yb находятся в равных либо незначительно превышающих концентрациях.

Геодинамическая интерпретация полученных результатов

Реконструкция палеогеодинамических обстановок формирования отложений Западно-Сахалинского террейна осуществлена при помощи серии диаграмм, в основу которых положен ряд индикаторных оксидов, редких и редкоземельных элементов, а также их соотношений, отражающих минеральный состав пород питающих провинций и геохимическое поведение ряда элементов в воде [9, 10, 13, 14]. На рис. 4, а–в приведены дискриминационные диаграммы, применяющиеся для разделения песчаных пород из бассейнов различных геодинамических обстановок по химическому составу [9, 13, 14]. На этих диаграммах точки песчаники террейна попадают либо приближаются к полям бассейнов, сопряженных с островными дугами, развитыми на зрелой континентальной коре (например, Японские острова), а также к полям бассейнов активных континентальных окраин андийского типа, включающих в себя в том числе и окраины, осложненные сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам. Палеогеодинамическая интерпретация химического состава глинисто-алевритовых пород не противоречит выводам, полученным при интерпретации состава песчаников (рис. 4, б, г) [13, 14].

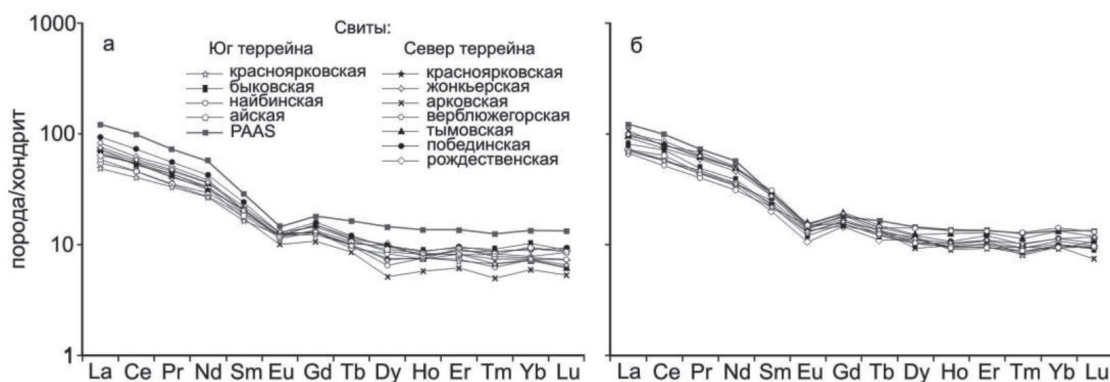


Рис. 3. Распределение РЗЭ, нормированных по хондриту, в песчаных (а) и глинисто-алевритовых (б) породах Западно-Сахалинского террейна и сопоставление их с РААС [7]

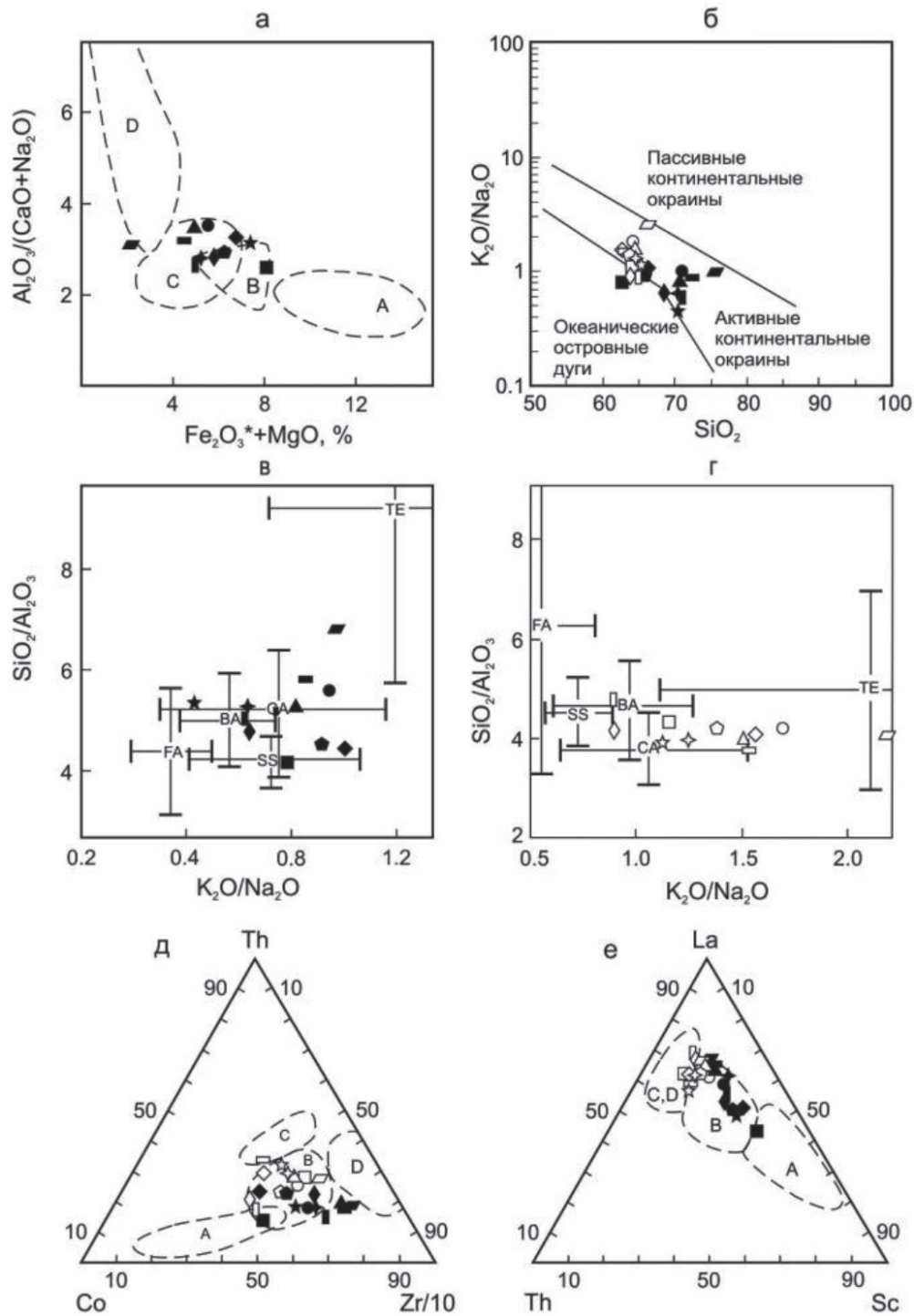


Рис. 4. Палеогеодинамическая интерпретация геохимического состава песчаных и глинисто-алевритовых пород Западно-Сахалинского террейна (средние значения): а, д, е – типы бассейнов, сопряженных: А – с океаническими, В – с континентальными островными дугами, С – с активными, D – с пассивными континентальными окраинами [9, 10]; б, в, г – типы бассейновых обстановок (в – для песчаных, г – для глинисто-алевритовых пород, б – для обоих типов пород) [13, 14]. Для в и г – пересекающиеся линии – стандартные отклонения от среднего состава пород из бассейнов: пассивных континентальных окраин (ТЕ); активных континентальных окраин, осложненных сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам (SS); сопряженных с окраинно-континентальными магматическими дугами (СА); с океаническими вулканическими дугами (FA – преддуговые и BA – задуговые бассейны). Условные обозначения см. рис. 2. Черные значки – песчаные, белые – глинисто-алевритовые породы

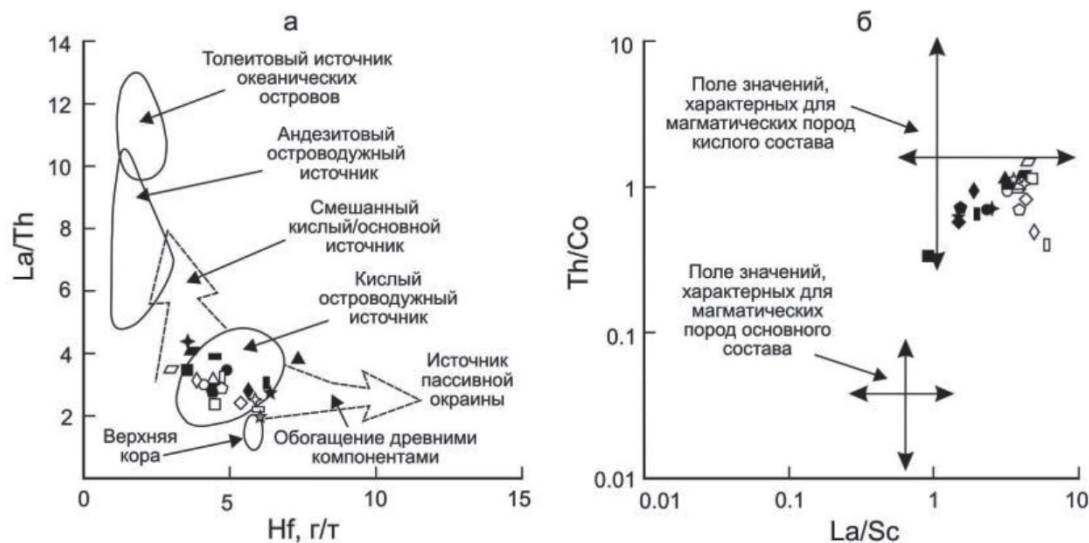


Рис. 5. Типы источников обломочного вещества для терригенных пород Западно-Сахалинского террейна [11, 12]. Условные обозначения см. рис. 2 и 4

Анализ положения фигуративных точек состава редких и редкоземельных элементов на диаграммах М. Бхатия и А. Крука [10], также предназначенных для реконструкции палеогеодинамических обстановок бассейнов седиментации, подтверждает результаты полученные по петрогенным элементам: фигуративные точки терригенных пород террейна группируются в полях бассейнов как активных континентальных окраин, в том числе сопряженных со сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам, так и бассейнов, связанных с окраинно-континентальными магматическими дугами (рис. 4, д, е).

Поскольку уровни концентраций и распределение редких и РЗЭ в терригенных породах контролируются составом источников питания, их генетическая интерпретация с использованием ряда индикаторных элементов и их соотношений позволяет получить достаточно достоверную информацию о составе материнских пород питающих провинций. Относительно невысокие концентрации в породах террейна РЗЭ, при незначительной их обогащенности легкими элементами по сравнению с тяжелыми, а также умеренно выраженная отрицательная Eu аномалия указывают на формирования отложений как за счет размывавшихся гранитно-метаморфических пород, так и основных вулканитов. Положение точек пород на диаграммах, предназначенных для реконструкции состава питающих про-

винций (рис. 5) [11, 12], свидетельствует, что область питания включала в себя как гранитно-метаморфические породы древней сиалической суши, так и расчлененную глубоко эродированную энсиалическую дугу, в которых эрозия вскрыла батолиты гранитоидов, подстилавших вулканиты. Отложения формировались за счет разрушения собственно вулканических образований дуги и гранитно-метаморфических пород ее фундамента.

Заключение

Изучение геохимического состава терригенных пород мела Западно-Сахалинского террейна свидетельствует, что по своим параметрам породы соответствуют грауваккам и являются петрогенными. Они характеризуются невысокой зрелостью обломочного материала, содержащего как фрагменты вулканических пород, так и сиалическую кластику. Геодинамическая интерпретация полученных данных свидетельствует, что седиментация, вероятно, происходила в бассейне активной континентальной окраины андийского типа, осложненной сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам. Область питания, поставлявшая обломочный материал в этот бассейн, объединяла сиалическую сушу, сложенную гранитно-метаморфическими породами, и зрелую расчлененную энсиалическую дугу, в которой эрозия вскрыла гранитоидные батолиты, подстилавшие

вулканиты. В целом полученные результаты хорошо коррелируются с результатами, полученными при изучении кайнозойских песчаников террейна [4].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-05-00857-а и проекта ДВО РАН № 15-I-2-001 о.

Список литературы

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / ред. А.И. Ханчук. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – Кн. 1. – 981 с.
2. Дмитриева Н.В. Петрогеохимические особенности метатерригенных пород Канского блока Восточного Саяна: реконструкция источников сноса и условий осадкообразования / Н.В. Дмитриева, О.М. Туркина, А.Д. Ножкин // Литология и полез. ископаемые. – 2008. – № 2. – С. 186–201.
3. Летникова Е.Ф. Неопротерозойские терригенные отложения Тувино-Монгольского массива: геохимическая корреляция, источники сноса, геодинамическая реконструкция / Е.Ф. Летникова и др. // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 12. – С. 2110–2121.
4. Малиновский А.И. Состав и геодинамическая природа песчаников кайнозоя юга Западно-Сахалинского прогиба / А.И. Малиновский // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 3. – С. 171–176.
5. Маслов А.В. К оценке палеогеодинамических обстановок формирования осадочных последовательностей нижнего и среднего рифея Учуро-Майского региона и Башкирского мегантиклинория / А.В. Маслов, В.Н. Подковыров, Э.З. Гареев // Тихоокеан. геология. – 2012. – Т. 31, № 5. – С. 55–68.
6. Петтиджон Ф.Дж. Пески и песчаники / Ф.Дж. Петтиджон, П. Поттер, Р. Сивер. – М.: Мир, 1976. – 535 с.
7. Тейлор С.Р. Континентальная кора: ее состав и эволюция / С.Р. Тейлор, С.М. Мак-Леннан. – М.: Мир, 1988. – 384 с.
8. Юдович Я.Э. Геохимические индикаторы литогенеза / Я.Э. Юдович, М.П. Кетрис. – Сыктывкар: Геопринт, 2011. – 742 с.
9. Bhatia M.R. Plate tectonic and geochemical composition of sandstones / M.R. Bhatia // J. Geol. – 1983. – Vol. 91. № 6. – P. 611–627.
10. Bhatia M.R. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins / M.R. Bhatia, A.W. Crook // Contrib. Mineral. Petrol. – 1986. – Vol. 92. – P. 181–193.
11. Cullers R.L. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions. And metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA / R.L. Cullers // Chem. Geol. – 2002. – Vol. 191. – P. 305–327.
12. Floyd P.A. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones / P.A. Floyd, B.E. Leveridge // J. Geol. Soc. London. – 1987. – Vol. 144. – P. 531–542.
13. Potter P.E. Sedimentology of shale: study guide and reference source / P.E. Potter, J.B. Maynard, W.A. Pryor. – New York: Springer-Verlag, 2012. – 303 p.
14. Roser B.P. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio / B.P. Roser, R.J. Korsch // J. Geol. – 1986. – Vol. 94, № 5. – P. 635–650.

УДК 550.8

**ТИПИЗАЦИЯ УГЛЕВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ЭЛЬГИНСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО КОМПЛЕКСНОМУ ПАРАМЕТРУ УСТОЙЧИВОСТИ****Скоморошко Ю.Н., Гриб Н.Н., Кузнецов П.Ю.***Технический институт (филиал) ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет
имени М.К. Аммосова», Нерюнгри, e-mail: 24790@mail.ru*

Представленные в статье исследования ориентированы на решение одной из актуальных проблем, возникающих при проектировании и строительстве горных предприятий по добыче полезных ископаемых – это достоверная оценка горно-геологических условий эксплуатации месторождения полезных ископаемых. Как показано в статье, наиболее оптимальное решение данной задачи достигается на детальной стадии геолого-разведочных работ, предшествующей проектированию и строительству горного предприятия. Авторами на основании анализа теоретического и экспериментального материала установлено, что природная устойчивость углевмещающих пород зависит от следующих факторов: вещественный состав, прочностные свойства, глубина залегания, трещиноватость, обводненность, структурно-текстурные особенности, тектоническое строение, геокриологическая обстановка, условия залегания. Для прогнозирования поведения углевмещающих пород в горных выработках и их типизации с учетом выделенных факторов, авторами разработан комплексный параметр устойчивости, который является потенциальной характеристикой поведения пород в горном массиве при его разработке. На основании этого комплексного параметра произведена типизация горных пород Эльгинского каменноугольного месторождения по их устойчивости в горных выработках.

Ключевые слова: Эльгинское месторождение, горная порода, устойчивость горных пород, горная выработка, горно-геологические условия месторождения, трещиноватость, геокриологические условия, сейсмичность, коэффициент текстурно-структурного ослабления, параметр устойчивости

**THE TYPIFICATION OF ELGA COAL RESOURCES ON THE BASIS
OF THE COMPLEX STABILITY FACTOR****Skomoroshko Yu.N., Grib N.N., Kuznetsov P.Yu.***Technical Institute (branch) of North-Eastern Federal University after M.K. Ammosov,
Neryungri, e-mail: 24790@mail.ru*

The research described in this article is aimed at solving one of the most important problems that usually occurs at the stage of constructional design of a mining enterprise. Actually, it is the true estimation of geological and mining conditions of natural resources deposit exploitation. The article represents that the most optimal solution can be achieved at the detailed stage of geological prospecting before the constructional design of a mining enterprise itself. Using the theoretical and experimental data analysis it was stated that the natural stability of coal rock depends on the following factors: material composition, structural behavior, the depth of cover, fissuring, water-bearing, structure and texture peculiarities, tectonic constitution, permafrost conditions, and occurrence conditions. In order to make a forecast of coal behavior in driftage and its typification, the authors of the article created a complex stability parameter which became the major characteristic of rock behavior in a massif when being opened. To define the rock formation stability in driftage, the rock typification at Elga coal deposit was made with the help of this complex parameter.

Keywords: Elga coal deposit, rock formation, rock stability, mine opening, mining and geological deposit conditions, fissuring, permafrost conditions, seismicity, texture and structure weakening ratio, stability factor

Для проектирования и строительства новых шахт и карьеров требуются большие капиталовложения. Поэтому очень важно по разведочным данным достоверно оценить горно-геологические условия их эксплуатации и, в частности, поведение пород в будущих горных выработках.

На стадии детальной геологической разведки месторождения производятся инженерно-геологические исследования, детальность которых определяется сложностью ожидаемых инженерно-геологических условий месторождения. Одной из основных задач инженерно-геологических исследований является получение материалов, на основе которых выполняется прогнозирование устойчивости пород место-

рождений при вскрытии их карьерами или подземными горными выработками. А это, в свою очередь, позволяет предусмотреть предупреждающие и защитные мероприятия на стадии проектирования горных выработок.

Природная устойчивость пород зависит от ряда факторов: вещественного состава, прочностных свойств, глубины залегания, трещиноватости, обводненности, мощности пластовой отдельности, условий залегания и др. Исследования вещественного состава горных пород и их физико-механических свойств по образцам, отобраным при бурении разведочных скважин, позволяют спрогнозировать возможные условия устойчивости горных пород в горных выработках [1].

По особенностям тектонического строения, выдержанности угольных пластов и другим особенностям геологического строения Эльгинское месторождение по сложности, согласно классификации ГКЗ МПР РФ, относится ко 2 группе месторождений.

Породы Северо-Западного участка Эльгинского месторождения по инженерно-геологическим свойствам относятся к двум генетическим типам. К первому типу относятся четвертичные рыхлые образования, ко второму типу – коренные породы.

Большая неоднородность геокриологических условий является особенностью Эльгинского каменноугольного месторождения. Многолетнемерзлые породы Эльгинского месторождения, как и в целом по бассейну, имеют прерывистое по площади и сплошное по вертикали распространение. Их мощность колеблется от нескольких десятков до 200 метров.

Четвертичные отложения находятся в многолетнемерзлом состоянии, поэтому при разработке в зимнее время необходимо будет применять предварительное рыхление буровзрывным способом. Из четвертичных образований практический интерес при оценке инженерно-геологических условий представляют ледниковые отложения, которые характеризуются нулевым сцеплением, угол внутреннего трения для них составляет 22,5 град. Они развиты в юго-восточной части месторождения и по долинам рек и ручьев в юго-западной и северо-восточной его частях. Мощность ледниковых отложений в долинах рек по периферии месторождения колеблется от 5 до 35 м, в юго-западной части она достигает 50–90 м. При их сезонной оттайке, которая составляет 1,5–2 м, будет иметь место локальное сползание бортов карьера. Переход от четвертичных отложений к коренным породам, как правило, резкий.

Коренные породы разреза представлены переслаивающимися крупно-, средне-, мелкозернистыми песчаниками с редкими прослоями алевролитов, которые зачастую приурочены к кровле и почве угольных пластов. Мощность прослоев алевролитов и их объем значительно увеличивается в разрезе нерюнгриканской свиты, особенно ниже пласта H_{15} . Гравелиты в разрезе встречаются в виде линз и тонких прослоев и пользуются ограниченным распространением. Прослои туфопесчаников в разрезе отложений имеют подчиненное значение, и при анализе устойчивости пород в откосах бор-

тов карьера они относились к соответствующим литотипам по гранулометрическому признаку. В кровле пласта H_{16} залегает горизонт полимиктовых конгломератов мощностью от 15–20 до 30–40 м.

Анализ результатов определений физико-механических свойств пород позволяет отнести коренные углевмещающие породы ко 2-ой группе полускальных (средней прочности) горных пород.

На месторождении выявлено четыре крупно амплитудных нарушения: три сброса и один надвиг. Схема будущей отработки месторождения построена с учетом этих нарушений, таким образом, что их влияние на устойчивость рабочего борта карьера будет минимизировано.

Изучение интенсивности трещиноватости углевмещающих пород проводилось на всех стадиях разведки Эльгинского месторождения, в каждой геологоразведочной выработке. Кроме того, была проведена специальная инженерно-геологическая документация пород и углей по геологоразведочным скважинам и проанализирована степень трещиноватости пород на основе изучения полевой документации горных выработок [2].

На месторождении выявлено два типа трещин: трещины напластования, совпадающие со слоистостью (субгоризонтальные), заполненные органическим и глинистым веществом и тектонические трещины субвертикального направления, заполненные гидроокислами железа и карбонатными минералами. Что касается раздробленности пород, то количество столбиков керна, извлекаемого при бурении скважин на 1 пог. м увеличивается по мере приближения к зонам тектонических нарушений и иногда достигает 15–17.

Результаты изучения интенсивности трещиноватости массива и анизотропии приведены в табл. 1. Из приведенных данных следует, что наибольшая трещиноватость наблюдается в литологических слоях, сложенных алевролитами и мелкозернистыми песчаниками, а наименьшая – в слоях, сложенных крупнозернистыми песчаниками. Категория трещиноватости литологических слоев, сложенных конгломератами и гравелитами, оценена как слабая по аналогии с другими угольными месторождениями бассейна, так как из-за низкого выхода керна по конгломератам и гравелитам оценить их категорию трещиноватости, непосредственно по геологическому описанию, не представлялось возможным.

Таблица 1

Характеристика трещиноватости и коэффициента устойчивости вмещающих пород
Эльгинского месторождения

Литотип	Коэфф. трещиноватости 1/м	Коэффициент структурного ослабления	Коэффициент текстурного ослабления	Коэффициент анизотропии	Коэффициент устойчивости
Алевролиты	3,7	0,7	0,90	0,97	1,577
Песчаник мелко-зернистый	3,4	0,7	0,85	0,99	1,566
Песчаник средне-зернистый	2,3	0,8	0,85	0,87	1,554
Песчаник крупно-зернистый	2,8	0,8	0,90	0,87	1,494
Конгломерат	1,4	0,9	1,00	0,59	1,370

Коэффициент анизотропии изучался на образцах кубической формы путем определения предела прочности на сжатие и замерам скорости прохождения упругих акустических волн вдоль и поперек напластования [3].

Анализ водоустойчивости и морозостойкости пород вскрыши позволяет рекомендовать использовать их большую часть (песчаники мелко-, средне- и крупнозернистые) для отсыпки дорог.

Для территории Эльгинского месторождения выполнено прогнозирование приращения сейсмических воздействий для площадки строительства горного предприятия [4]. В результате прямых инструментальных наблюдений и расчетов построены планы микросейсмрайонирования по данным метода регистрации микросейсм и метода сейсмических жесткостей. По результатам исследований сейсмичность территории оценивается по уточненной исходной балльности площадки 7 баллов (по карте ОСР-97В для второй категории грунтов) степень сейсмической опасности площадки, для существующих на момент проведения изысканий грунтовых условий, оценивается в 6,87 балла (усредненный показатель). Это вызывает необходимость введения поправки при расчетах параметров борта будущего карьера в виде коэффициента запаса, учитывающего возможность возникновения сейсмических нагрузок. С учетом этого предельная высота уступов при прочих равных условиях снижается на 23%.

Приведенные выше данные подтверждают установленные на других угольных месторождениях бассейна закономерности: интенсивность трещиноватости определяется в основном литологическим составом – чем больше крупность обломочного

материала пород, тем меньше интенсивность трещиноватости массива, сложенного этой породой. Слоистость пород развита в алевролитах и в меньшей степени в песчаниках и чаще всего составляет от 1 до 5 слоев на 1 пог. м.

Все вышесказанное необходимо учесть при оценке пород по устойчивости в горных выработках при разработке Эльгинского угольного месторождения и их классификации по этому показателю.

Классификация по устойчивости основных литологических разностей пород в открытых горных выработках в соответствии с рекомендациями [5] производилась по коэффициенту устойчивости, рассчитанному по формуле

$$K_y = K_{yp} \cdot K_{тр} \cdot K_a, \quad (1)$$

где K_{yp} – коэффициент, учитывающий напряженное состояние горных пород в массиве; $K_{тр}$ – коэффициент структурно-текстурного ослабления; K_a – коэффициент анизотропии.

Коэффициент, учитывающий напряженное состояние горных пород в массиве, определяется по формуле

$$K_{yp} = \frac{\sigma_{сж}}{g \cdot \delta_{пм} \cdot H}, \quad (2)$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности при одноосном сжатии пород, МПа; $\delta_{пм}$ – плотность пород, высушенных до постоянной массы, т/м³; H – глубина залегания, м; g – ускорение силы тяжести, м/с².

Коэффициент структурно-текстурного ослабления рассчитывается с учетом данных табл. 2 и исходя из выражения

$$K_{тр} = q \cdot L, \quad (3)$$

где q – показатель, определяемый по трещиноватости пород; L – показатель, определяемый по слоистости пород.

Таблица 2
Коэффициенты структурного и текстурного
ослабления пород [6]

Трещиноватость		Слоистость	
Характеристика пород	q	Характеристика пород	L
Нетрещиноватые	1,0	Без слоистости	1,0
Слаботрещиноватые (1–2 тр./м)	0,8	Слабослоистые (2–3 сл./м)	0,9
Трещиноватые (3–5 тр./м)	0,7	Слоистые (3–5 сл./м)	0,85
Сильнотрещиноватые (>5 тр./м)	0,6	Сильнослоистые (>5 сл./м)	0,75

По коэффициенту устойчивости, согласно рекомендациям [1], породы делятся на весьма неустойчивые ($K_y < 0,5$), неустойчивые ($K_y = 0,5 - 1$), относительно устойчивые ($K_y = 1 - 1,5$), устойчивые ($K_y = 1,5 - 2$) и весьма устойчивые ($K_y > 2$). В результате выполненных расчетов все породы, за исключением конгломератов, характеризуются устойчивым состоянием, конгломераты – относительно устойчивым состоянием.

Известно, что величина сцепления горных пород в массиве меньше величины сцепления определенной на монолитных образцах породы. Величина коэффициента структурного ослабления определяется согласно эмпирической зависимости, установленной Г.Л. Фисенко [6]:

$$\lambda = \frac{1}{1 + a \cdot \ln(H \cdot K_{тр})}. \quad (3)$$

На рис. 1 приведены графики коэффициента структурного ослабления в зависимости от мощности вышележащей толщи (H) для разных литотипов горных пород Эльгинского месторождения, построенные по результатам расчетов по формуле (4).

Определение величины сцепления горных пород в массиве (C_m) производится по формуле

$$C_m = \lambda \cdot C_o, \quad (5)$$

где C_o – величины сцепления горных пород в образце.

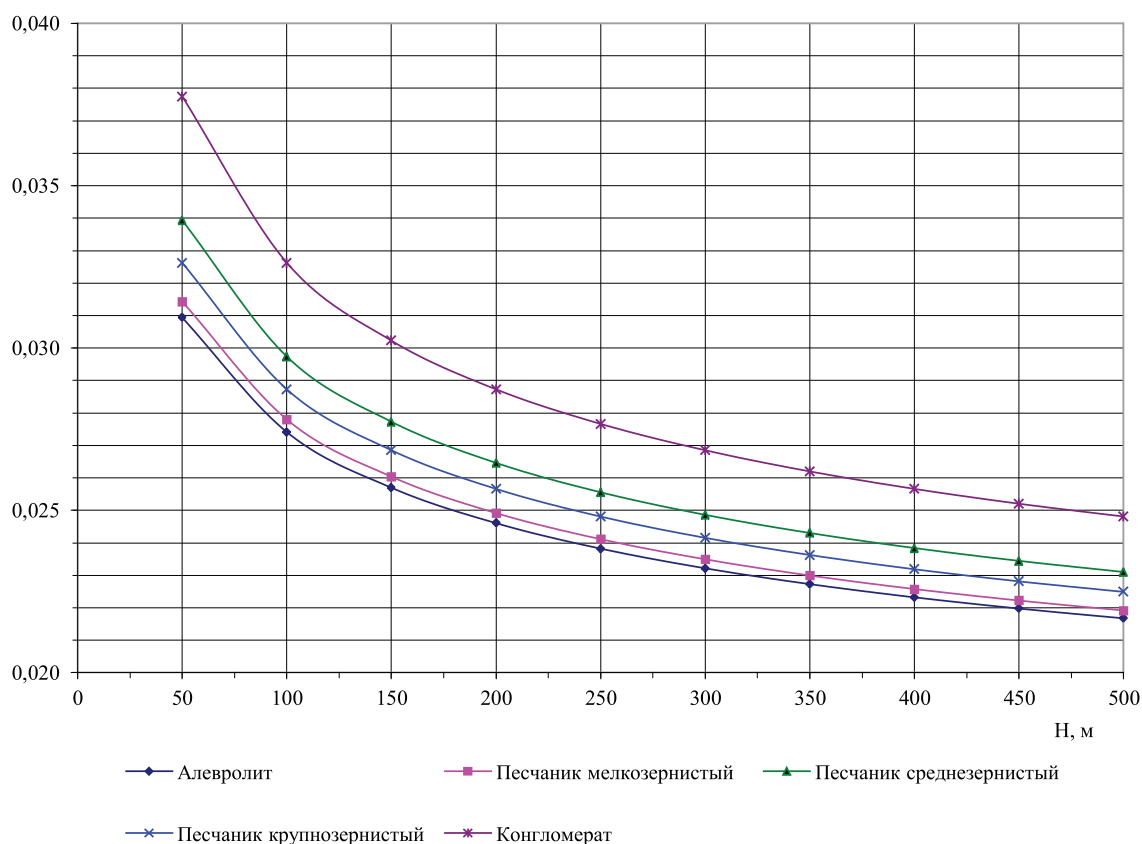


Рис. 1. Коэффициент структурного ослабления физико-механических свойств горных пород в массиве

В результате проведенных исследований и анализа фактического материала полученного при разведке Эльгинского каменноугольного месторождения, авторами был сделан вывод о том, что оценку устойчивости основных литотипов пород месторождения необходимо производить с использованием коэффициента структурного ослабления, рассчитанного по формуле (4), которая включает в себя мощность вышележащей толщи пород.

Авторами предлагается типизацию горных пород Эльгинского месторождения производить по параметру устойчивости, который, для основных литотипов, рассчитывается по формуле

$$P_y = K_a \cdot \lambda \cdot \frac{\sigma_{сж}}{g \cdot \delta_{ср} \cdot H}, \quad (6)$$

где λ – коэффициент структурного ослабления рассчитанный по формуле (4); $\delta_{ср}$ – средневзвешенная плотность горных пород месторождения.

В табл. 3 представлена типизация горных пород Эльгинского месторождения по устойчивости их в горных выработках, согласно [1] классификации пород по устойчивости.

Необходимо отметить, что основные литологические типы пород в зависимости от глубины их залегания характеризуются различной степенью устойчивости (рис. 2).

Таблица 3

Типизация пород Эльгинского месторождения по устойчивости их в горных выработках

Значения Параметра устойчивости P_y	Характер устойчивости	Интервалы залегания литологических типов пород в массиве горных пород, м				
		Алеврит	Песч-к мелкозерн.	Песч-к среднезерн.	Песч-к крупнозерн.	Конгломерат
>2	Весьма устойчивое	0–65	0–70	0–65	0–55	---
1,5–2,0	Устойчивое	65–85	70–85	65–80	55–75	0–65
1,0–1,5	Относительно устойчивое	85–115	85–115	80–105	75–95	65–90
0,5–1,0	Неустойчивое	115–200	115–210	105–195	95–175	90–150
<0,5	Весьма неустойчивое	Более 200	Более 210	Более 195	Более 175	Более 150

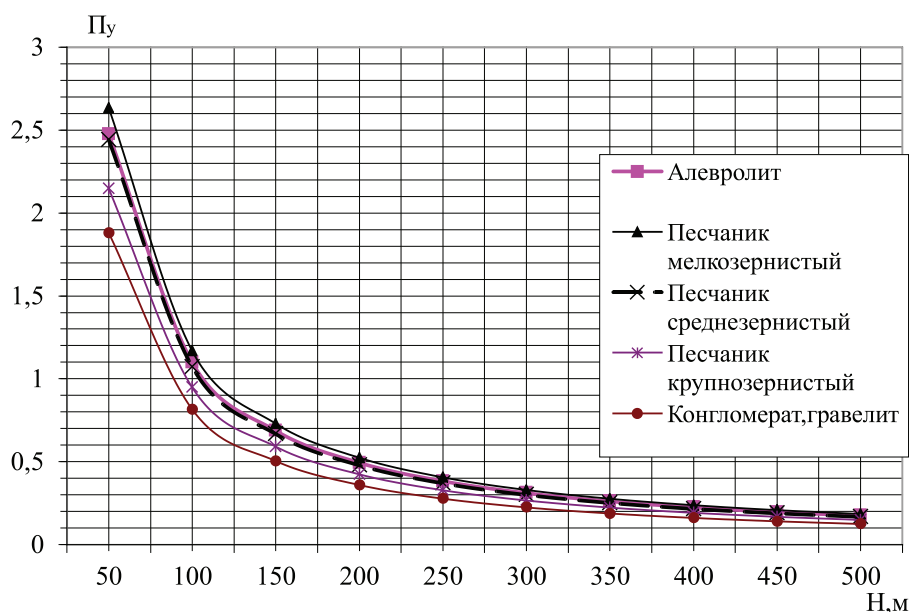


Рис. 2. Зависимость параметра устойчивости литотипов горных пород от глубины залегания

Таким образом, параметр устойчивости P_y можно считать потенциальной характеристикой поведения литологического типа породы в горной выработке и предусматривать при проектировании горных выработок мероприятия по обеспечению их устойчивости в процессе отработки.

Список литературы

1. Малинин С.И. Опыт составления карт прогноза природной устойчивости пород по разведочным данным (на примере Донбасса) / С. И. Малинин. – М.: ЦНИЭИуголь, 1969. – 58 с.
2. Применение математического аппарата Марковской нелинейной статистики для оценки трещиновато-

сти углевмещающих пород по геофизическим данным / Н.Н. Гриб [и др.] // Горный журнал. – 2004. – № 8. – С. 87–89.

3. Гриб Н.Н. Физико-механические свойства углевмещающих пород Южно-Якутского бассейна / Н.Н. Гриб, А.В. Самохин. – Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1999. – 240 с.

4. Оценка сейсмической опасности района строительства Эльгинского угольного комплекса на юге Якутии по комплексу геолого-геофизических данных / Н.Н. Гриб [и др.] // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2014. – № 3. – С. 55–74.

5. Методическое руководство по изучению гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986. – 126 с.

6. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов и отвалов на разрезах / Г.Л. Фисенко, А.М. Мочалов. – М.: ЦНИЭИуголь, 1975. – 54 с.

УДК 910.3:502:504

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ГОРОДА ДЗЕРЖИНСКА ПО СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ**¹Соткина С.А., ¹Бадина О.Н., ¹Шевченко И.А., ²Бикмаева А.В.**¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина»,
Нижний Новгород, e-mail: irina-dzr52@mail.ru;²Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ,
Дзержинский филиал, Дзержинск

В статье рассмотрены проблемы экологического состояния города Дзержинска по степени загрязнения почвенного покрова. Индикатором загрязнения был взят почвенный покров, который является единственной информативной средой, накапливающей загрязнение за много лет, и, соответственно, одним из наилучших индикаторов загрязнения окружающей среды. По загрязнению почвенного покрова были выделены различные зоны в соответствии с классификацией сложившейся эколого-геохимической ситуации. На основе этих данных были составлены карты загрязнения почвенного покрова и проведено ранжирование территории по степени опасности и сложившейся эколого-геохимической ситуации. Картирование загрязнения и распространения тяжелых металлов в почвах позволяет продемонстрировать современную сложившуюся ситуацию и ранжировать изучаемую территорию по степени опасности для жизнедеятельности человека.

Ключевые слова: экология, ситуация, эколого-геохимическая ситуация, почвы, загрязнение почв, тяжелые металлы, химическое производство

THE ECOLOGICAL CONDITION OF THE CITY OF DZERZHINSK ON THE DEGREE OF SOIL POLLUTION WITH HEAVY METALS**¹Sotkina S.A., ¹Badina O.N., ¹Shevchenko I.A., ²Bikmaeva A.V.**¹Nizhny Novgorod State Pedagogical University K. Minin, Nizhny Novgorod, e-mail: irina-dzr52@mail.ru;²The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration,
Dzerzhinsky branch, Dzerzhinsk

The article considers the problems of the ecological state of the city of Dzerzhinsk in terms of the degree of soil cover contamination. The pollution indicator was a soil cover, which is the only informative environment that accumulates pollution for many years and, accordingly, one of the best indicators of environmental pollution. According to the contamination of the soil cover, various zones were identified in accordance with the classification by the prevailing ecological and geochemical situation. On the basis of these data, maps of soil cover contamination were compiled and the ranking of the territory was carried out according to the degree of danger and the prevailing ecological and geochemical situation. Mapping of pollution and distribution of heavy metals in soils allows us to demonstrate the current situation and to rank the area under study according to the degree of danger to human life.

Keywords: environment, situation, ecological-geochemical situation, soil, soil pollution, heavy metals, chemical production

Развитие промышленного потенциала и усиливающийся антропогенный прессинг приводят к изменению окружающей среды. Как следствие, происходят негативные изменения окружающей среды и ухудшение экологической ситуации, что не может не сказаться на качестве и комфортности проживания населения. В связи с этим необходимо рассматривать эколого-геохимическую ситуацию, которая объясняет условия миграции и формирования определенных полей концентрации элементов-загрязнителей.

В нашем понимании эколого-геохимическая ситуация определяется как интегральный показатель состояния загрязнения окружающей среды, базирующийся на анализе состояния аккумулирующих сред: снега, почв, растений, вод, донных отложений водоемов, тканей и органов животных, человека, химический состав которых достаточно точно индицирует длительное

загрязнение и происходящую под его влиянием трансформацию природной среды [6].

В более кратком варианте эколого-геохимическая ситуация – это комплекс геохимических условий, влияющих на проживание и состояние здоровья населения, а также на формирование экологического сознания и культуры жителей г. Дзержинска [9].

Для того чтобы сохранить баланс в развитии города, необходимо осуществлять непрерывный процесс исследования развития городской среды. В большинстве случаев применяется системный анализ. Для проведения системного анализа необходимо не только учитывать все особенности развития городской среды, но и выстроить определенный алгоритм проведения анализа [2]. Таким образом, современное экологическое состояние оценивается по загрязнению воздуха, воды, почвы, снега и растительности. Но наиболее репрезентативным объектом

по изучению экологической ситуации являются почвы – единственная среда, способная хранить экологическую информацию достаточно долго. И наиболее опасным для человека является загрязнение почв тяжелыми металлами и другими веществами.

Дзержинск является городом, к которому приковано внимание всего мира как к самому загрязненному и опасному для проживания населения. В связи с этим необходимо проводить постоянный мониторинг загрязнения окружающей среды и оценку влияния сложившейся ситуации на комфортность проживания населения.

Город Дзержинск расположен на левобережье Оки в 30 км к западу от областного центра г. Нижнего Новгорода. Является административным центром городского округа Дзержинска и вторым по величине городом Нижегородской области. Расположен на важных железнодорожных, автомобильных и водных путях.

Дзержинск обладает уникальным природным и историко-культурным наследием с большим сосредоточением разнообразных рекреационных объектов [5].

По экологическому состоянию Дзержинск считается четвертым городом в России с наибольшим уровнем загрязнения атмосферы [4]. И основной вклад приходится на предприятия химической промышленности, доля которой составляет – 61,3% всего производства. Фиксируется, что основным загрязняющим веществом в Дзержинске и его восточной промышленной зоне является аммиак. На уровне ПДК в Дзержинске концентрируются взвешенные вещества, формальдегид, а в восточной промзоне – диоксид азота [7].

Материалы и методы исследования

В основу работы положены полевые исследования 2015, 2016 гг. За полевые работы выполнено 17 лучевых маршрутов, которые охватили всю территорию Дзержинска, включая и восточную промышленную зону города. В процессе маршрутов делались прикопки с целью отбора смешанных образцов с поверхностных горизонтов. Расстояние между точками от 200 до 500 м. В результате было отобрано более 200 почвенных образцов, далее проанализированных по итогам полуколичественного спектрального анализа на содержание тяжелых металлов первой, второй и третьей групп опасности. Содержание подвижных форм оценивалось при помощи атомно-адсорбционного анализа. По итогам полученных анализов были состав-

лены карты загрязнения почвенного покрова и ранжирование территории по степени опасности и сложившейся эколого-геохимической ситуации [6, 7].

Результаты исследования и их обсуждение

На территории г. Дзержинска выделяются дерново-подзолистые почвы. В прирусловой части поймы территории города на аллювиальных отложениях сформировались аллювиально-дерновые почвы (рис. 1).

На остальной территории г. Дзержинска преобладают подзолистые песчаные и супесчаные почвы (70,9% площади пашни). Местами почвы заболочены.

Данные почвы характеризуются минимальным запасом питательных веществ. Содержание гумуса в них ниже 1,5 и pH часто достигает 4,5.

На содержание тяжелых металлов в почвах оказывают влияние не только количество и качество выбросов загрязняющих веществ, но и механический состав, гумусность, кислотность, способность активно поглощаться растениями и миграционная активность.

География кислотности. Особенности влияния кислотности почв на формирование ландшафтно-геохимических условий позволяют выявить техногенный сдвиг реакции pH в кислую сторону. На составленной карте обменной кислотности почв (рис. 2) заметны различия между ландшафтными районами. В местах наиболее интенсивного загрязнения воздуха реакция почв щелочная ($\text{pH} > 7,5$), слабощелочная ($\text{pH} 7,1-7,5$). Распространение щелочных почв объясняется наличием большого количества промышленных предприятий, вокруг которых они формируются. По мере удаления от источников загрязнения в стороны наблюдается постепенная смена реакции почв с щелочной на кислую. Сильнокислая реакция наблюдается лишь на небольших участках дерново-подзолистых, в районе оз. Святого и рекреационных зон Оки [7].

Значение реакции pH как важнейшего показателя ландшафтно-геохимических условий объясняется тем, что именно этой реакцией во многом определяется миграционная активность загрязнителей [7]. Смена щелочных условий на кислые усиливает подвижность химических элементов, в том числе тяжелых металлов. Смена кислой реакции на щелочную снижает подвижность химических элементов и уменьшает их токсичность.

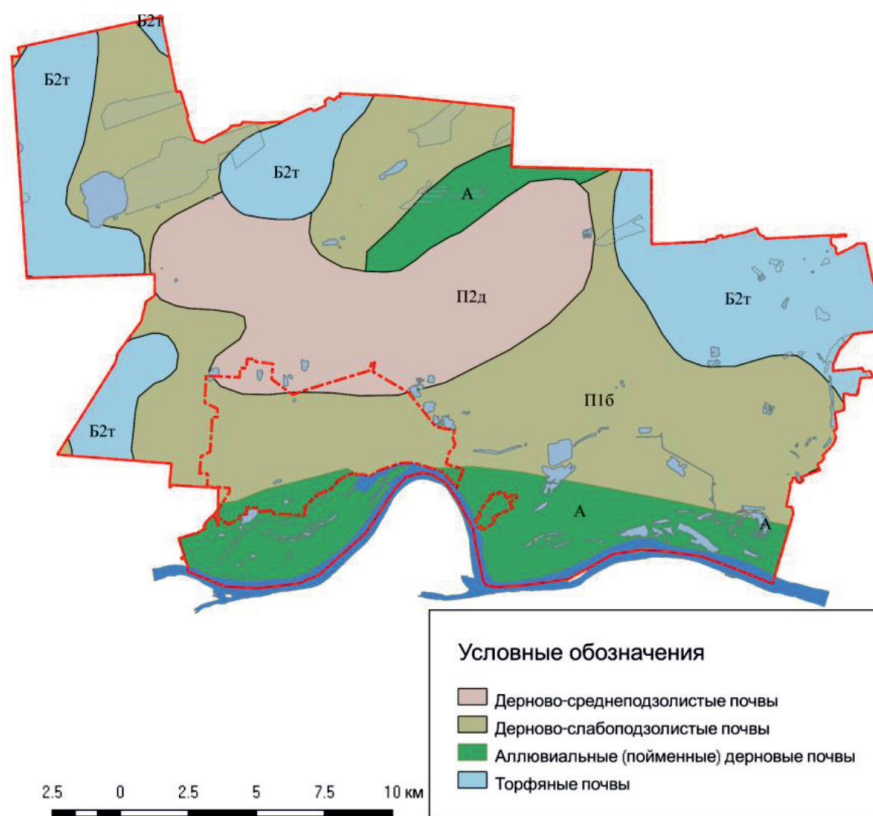


Рис. 1. Почвы городского округа Дзержинска (авт. Бадьина О.Н., Соткина С.А., 2016)

Обменный калий – важнейший элемент питания растений, но в больших количествах может быть элементом-загрязнителем (ПДК 560 мг/кг). Наблюдается закономерная смена загрязненности почв обменным калием. Ареал, превышающий ПДК по содержанию калия, распространяется в зоне сосредоточения промышленного потенциала г. Дзержинска. По мере удаления от основных загрязнителей – промышленных предприятий, наблюдается уменьшение загрязнения.

Подвижный фосфор является важнейшим элементом питания растений, но, когда его содержание в почвах превышает ПДК (ПДК 200 мг/кг), он переходит в разряд опасных загрязнителей. В результате исследования выявлены закономерности распределения подвижного фосфора, которые копируют ареалы распространения обменного калия, но только с большим ареалом распространения очень высоких концентраций. В непосредственной близости от Дзержинска, где сосредоточены основные промышленные предприятия, содержание подвижного фосфора очень высокое (более 200 мг/кг). И только на достаточно большом удалении от промышленного центра содер-

жание P_2O_5 снижается до средней концентрации (150 мг/кг).

По содержанию и загрязнению почв тяжелыми металлами в работе рассмотрены по одному элементу из каждого класса опасности. Первый класс – свинец, второй класс опасности – кобальт и третий класс опасности – марганец.

По содержанию в почвах *подвижной формы свинца* выделяются 3 ареала, закономерно сменяющих друг друга. Ареал с высоким содержанием (более 40 мг/кг, иногда до 160) обнаружен в почвах промышленного города Дзержинска, широкой полосой вдоль Оки. Умеренно-опасное загрязнение (20–40 мг/кг) свойственно почвам окраины города. Вся остальная территория характеризуется допустимым загрязнением (до 20 мг/кг) (рис. 3).

По содержанию *подвижного марганца* (рис. 4) также выделяются три ареала: опасный ареал (более 3000 мг/кг), умеренно опасный (1500–3000 мг/кг), допустимый (менее 1500 мг/кг). Опасное загрязнение марганцем наблюдается закономерно в промышленной части г. Дзержинска, по мере удаления от центра загрязнение сменяется на допустимое.

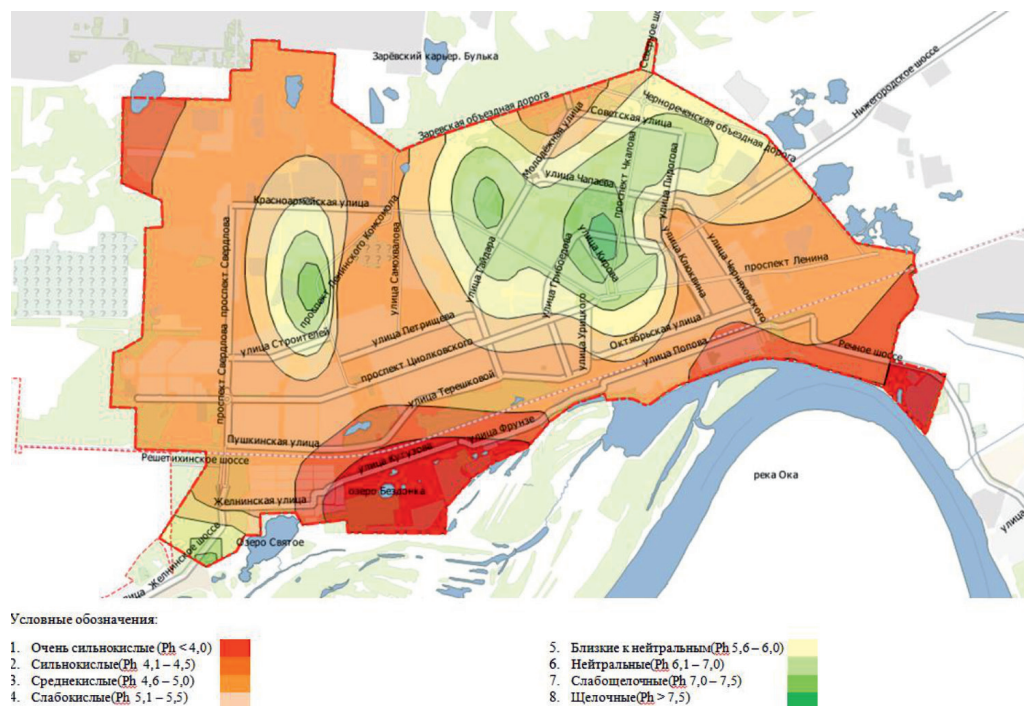


Рис. 2. Карта кислотности почв г. Дзержинска (авт. Бадьина О.Н., Соткина С.А., 2016)

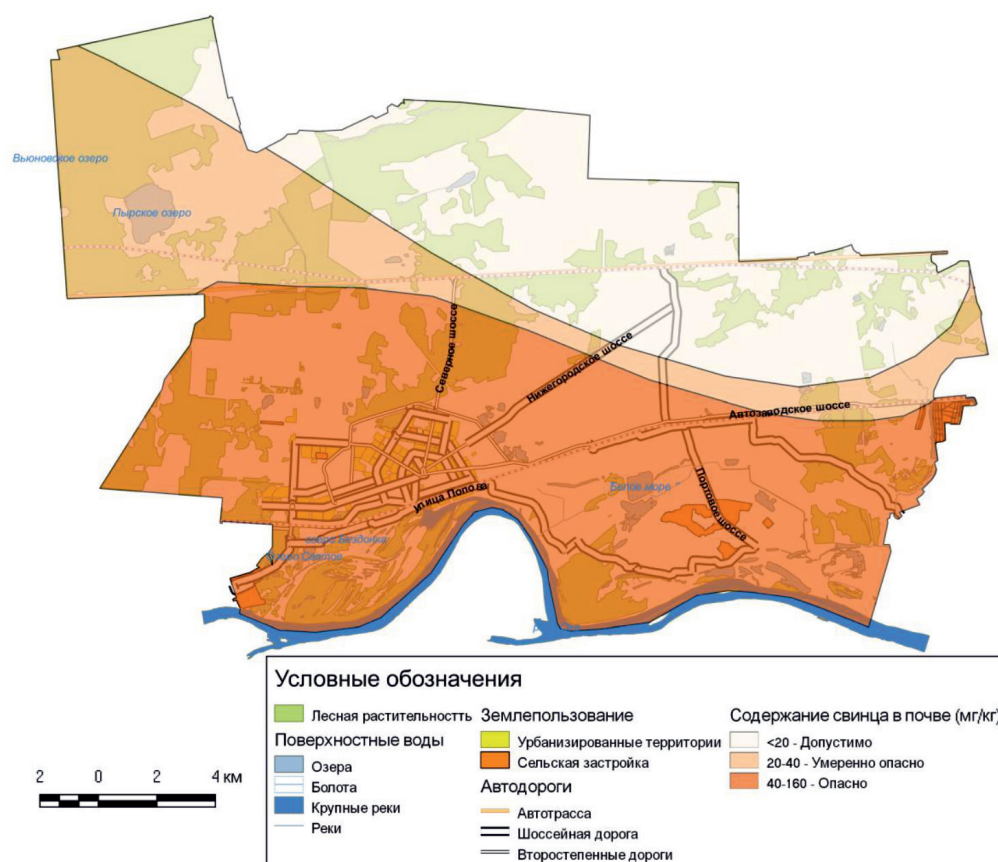


Рис. 3. Содержание свинца в почвах г. Дзержинска (авт. Бадьина О.Н., Соткина С.А., 2016)

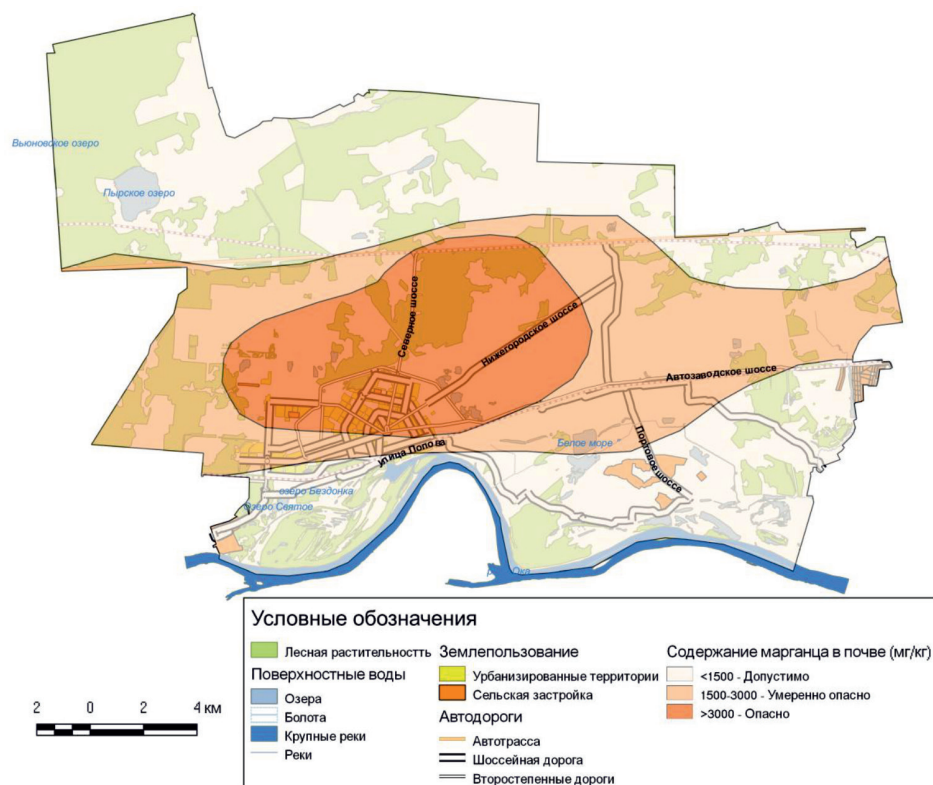


Рис. 4. Содержание марганца в почвах г. Дзержинска (авт. Бадьина О.Н., Соткина С.А., 2016)

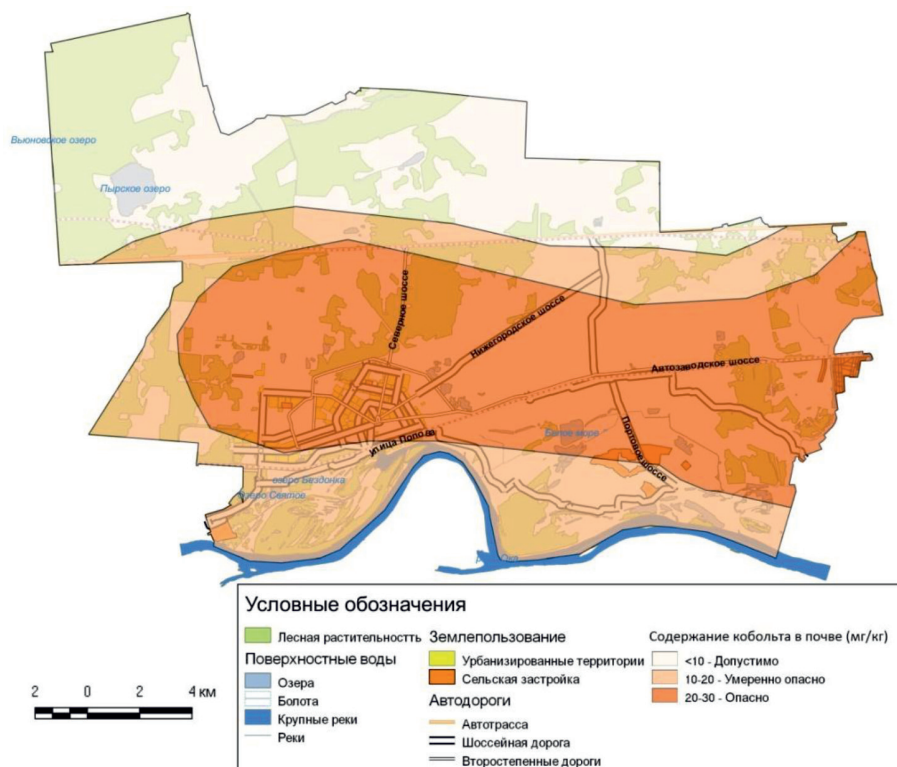


Рис. 5. Содержание кобальта в почвах г. Дзержинска (авт. Бадьина О.Н., Соткина С.А., 2016)

Идентичная картина наблюдается и по содержанию *подвижного кобальта* в почвах (рис. 5). Ясно выделяются 3 группы почв по содержанию подвижных форм кобальта: опасное содержание Co (более 20 мг/кг), умеренно опасное (10–20 мг/кг) и допустимое (менее 10 мг/кг). Опасное содержание Co распространяется полосой, вытянутой с запада на восток с увеличивающимися показателями загрязнения в восточной промышленной зоне. Также по мере удаления происходит уменьшение содержания кобальта в сторону допустимого загрязнения.

Выводы

Четко прослеживается картина загрязнённости почвенного покрова в области сосредоточения промышленного потенциала и вычленяется расширение клина загрязнения с запада на восток, с явным выделением восточной промышленной зоны г. Дзержинска по элементам трех групп опасности. По мере удаления от зоны, сосредоточения предприятий-загрязнителей загрязнение сменяется на допустимое. Таким образом, выделяются эколого-геохимические ситуации на территории г. Дзержинска. Зоне с опасным загрязнением соответствует критический уровень эколого-геохимической ситуации, умеренно опасному – напряженная эколого-геохимическая ситуация и допустимому – удовлетворительная эколого-геохимическая ситуация.

Список литературы

1. Бадьин М.М. Современные ландшафты Нижегородской области // М.М. Бадьин, А.Л. Варенов, Н.Ф. Винокурова, О.В. Глебова, А.И. Дмитриев, Н.В. Мартилова, С.Н. Пияшова, С.А. Соткина, О.В. Смирнова, А.В. Зулхарнаева, Н.И. Февралева, И.А. Шевченко // Научно-методический электронный журнал Концепт. – 2014. – Т. 25. – С. 196–200.
2. Бикмаева А.В., Лябина А.Н. Исследование качества городской среды // В сборнике: Теория и практика современной науки. Материалы XVI Международной научно-практической конференции. – 2014. – С. 210–214.
3. Касимов Н.С. Эколого-геохимическая оценка состояния городов // Экогеохимия городских ландшафтов. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – С. 20–39.
4. Кочуров Б.И. Экодиагностика и сбалансированное развитие.: Учебное пособие. – М.: Смоленск: Маджента, 2003.
5. Смирнова О.В., Коршунов М.Ю. Научные аспекты изучения природного и культурного наследия в интересах устойчивого развития // Вестник Мининского университета. – 2015. – № 2 (10). – С. 10.
6. Соткина С.А. Эколого-геохимическая ситуация на территории Нижегородской агломерации. Монография. – Нижний Новгород: НГПУ, 2008. – 106 с.
7. Соткина С.А. Эколого-геохимическая ситуация в системе экодиагностики территории (на примере Нижегородской агломерации) // Проблемы региональной экологии. – 2010. – № 6. – С. 54–59.
8. Шевченко И.А. Рецензия на учебное пособие кандидата педагогических наук, заместителя директора по учебной и научной работе филиала негосударственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский институт внешнеэкономических связей, экономики и права» в г. Дзержинске Нижегородской области И. Е. Жуковской «Экология» // Вестник Мининского университета. – 2013. – № 4 (4). – С. 18.
9. Шевченко И.А. Развитие человека и экологии городского ландшафта в контексте коэволюционных ценностей современной культуры в рамках культурно-экологического модуля // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2015. – № 1 (январь). – С. 116–120. – URL: <http://e-koncept.ru/2015/15024.htm>.

УДК 553.7:338.48 (571.54)

ПРИРОДНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И СОЦИАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО ГЕОБРЕНДА «БАРГУЗИНСКИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ»

¹Шагжиев К.Ш., ¹Бабилов В.А., ¹Жигмитова С.Б., ¹Мантатова А.В.,
²Чернявский М.К., ¹Оленников И.В.

¹ФГБОУ ВО «Бурятский государственный университет», Улан-Удэ, e-mail: shagk@mail.ru;

²ФГБУН Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук,
Улан-Удэ, e-mail: gin@gin.bscnet.ru

Баргузинская впадина и прилегающие к ней территории Окологбайкалья в научной литературе именуются как Баргузинское Прибайкалье и относятся к центральной части Байкальского рифтового пояса общепланетарного масштаба. Здесь открыты многочисленные проявления термальных и холодных минеральных вод, приуроченные к зонам глубинных разломов по бортам впадины. Термальные минеральные воды относятся к трем типам – Горячинскому, Кульдурскому и Белокурихинскому – установленным на известных курортах России. Минеральные воды используются местным населением и приезжими туристами с организацией на их базе так называемых «диких» курортов без лицензии на водопользование и без медицинских услуг. Природные достоинства минеральных вод определены их качественными и количественными показателями. Особо рассмотрены действующие «дикие» курорты – Кучигерский, Умхейский, Аллинский и Сеюйский. Выявлены «узкие места» и нерешенные задачи в деле освоения минеральных вод. Цель исследования: на основе анализа и обобщения материалов по современному состоянию использования минеральных вод определить пути перевода «дикого» лечебно-оздоровительного туризма в цивилизованное русло. Для достижения этой цели предложено использовать кластерный подход к организации лечебно-оздоровительного туризма, где возможно и необходимо использовать государственно-частное партнерство. Для привлечения интересов частного капитала должна быть развернута работа по более широкой популяризации баргузинских минеральных вод под брендом «Баргузинские минеральные воды». Следует считать, что в интересах социально слабо защищенных слоев населения Бурятии в условиях затянувшегося экономического кризиса в стране приоритетной является организация санаторно-курортного дела на местных минеральных водах.

Ключевые слова: рифтовый пояс, впадина, курорт, туризм, кластер, государственно-частное партнерство

NATURAL BACKGROUNDS AND SOCIAL FACTORS OF FORMATION OF REGIONAL GEOBRAND «BARGUZIN MINERAL WATERS»

¹Shagzhiev K.Sh., ¹Babikov K.A., ¹Zhigmitova S.B., ¹Mantatova A.V.,
²Chernyavskiy M.K., ¹Olennikov I.V.

¹Buryat State University, Ulan-Ude, e-mail: shagk@mail.ru;

²Geological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude,
e-mail: gin@gin.bscnet.ru

In the scientific literature in the Barguzin lowland, there are territories, which are called Barguzin Pribaikalie. They belong to the Central Part of Baikal Mountain System. Many processings of thermal and cold mineral waters that confined to deep zones along the sides of the lowland. There are three types of thermal waters: Goriachinskii, Kuldurskii, Belokurikhinskii. They are well-known resorts in Russia. Mineral waters used by the local population and tourists. On the territory of mineral waters, tourists organize a «wild» tourism. The «wild» tourism – when people do not have license on using water and medicine. The natural advantages of mineral waters defined by their qualitative and quantitative indicators. Nowadays there is a special attention to «wild» tourism – Kuchigerskii, Umheiskii, Alinskii and Sawickii. There are «bottlenecks» and unresolved tasks in the development of mineral waters. The aim is to identify ways of transferring «wild» health tourism in to a civilized system. To achieve this aim it is better to use the cluster approach to the organization of medical and health tourism where it is necessary to use public-private partnerships. To attract more interests it should be a wider promotion of the barguzin mineral waters under the brand name «Barguzin Mineral Waters». Moreover, in Buryatia people do not have enough money because of the economic crisis, so that is why it is better to organize sanatorium-resort business on the local mineral waters.

Keywords: rift zone, trench, resort, tourism, cluster, public-private partnership

22 сентября 2016 г. Президент Российской Федерации В.В. Путин дал поручение Правительству страны разработать к маю 2017 г. стратегию развития санаторно-курортного комплекса на ближайшую перспективу. Совершенно очевидно, что такой весьма важный с экономической и социальной точек зрения документ должен быть

подготовлен во всех регионах федерации. Вместе с тем следует отметить, что органами власти Республики Бурятия в конце 2016 г. принята как руководство к действию «Стратегия социально-экономического развития Республики Бурятия на период до 2030 года». Научно-исследовательская работа на заданную тему выполнена Си-

бирским Институтом управления в соответствии с государственным контрактом № 56/12 от 30.11.2015 г. В ней определены три приоритетных направления развития отраслей экономики – промышленности, сельского хозяйства и туризма. Не вдаваясь в подробный анализ работы, следует подчеркнуть, что стратегия развития туризма носит декларативный характер, т.е. напоминает декларацию о намерениях. В ней нет механизма реализации стратегии и не выделены региональные приоритеты в туристской отрасли.

С учетом указанных обстоятельств цель исследований по теме данной статьи ставится в следующей редакции: на основе анализа и обобщения материалов по современному состоянию использования минеральных вод региона определить пути перевода «дикого» лечебно-оздоровительного туризма региона в цивилизованное русло посредством использования новейшего кластерного подхода.

Материалы и методы исследования

В основу раскрытия содержания темы исследования положены собственные оригинальные материалы, собранные авторами в течение нескольких последних лет в границах всего Баргузинского Прибайкалья. К числу основных методов исследований относятся:

- изучение литературных и фондовых материалов, их анализ и обобщение;
- полевые натурные наблюдения и изучение современного состояния и способов использования минеральных вод региона;
- фотофиксация объектов исследования;
- анкетный опрос туристов;
- выявление «узких мест» и нерешенных задач в деле освоения и охраны минеральных вод.

Результаты исследования и их обсуждение

Баргузинские минеральные воды приурочены к внутригорной кайнозойской Баргузинской впадине «байкальского» типа. Она входит в центральную (Байкало-Баргузинскую) часть Байкальского рифтового пояса общепланетарного масштаба. С границами рифтового пояса географически совпадают границы распространения провинции азотных терм [14]. В рифтах обычно выделяются: рифтовые впадины (грабены), глубинные разломы, ограничивающие впадины, внутривпадинные поднятия и плечи рифтов – горные обрамления рифтовых впадин.

Баргузинская впадина под острым углом отходит от Байкальской котловины на северо-восток. С северо-запада обрамлена Баргузинским хребтом, а с юго-востока – Икатским хребтом. Она является второй по величине в Байкальском рифтовом поясе: протяженность ее более 200 км, ширина до 30–35 км, глубина прогиба более 2,0–2,5 км.

В описываемой впадине, в ее бортах и вблизи внутривпадинной Шаманской перемычки, происходит разгрузка трещинно-жильных гидротерм в зонах всего Баргузинского (северо-западный борт) и Верхне-Гаргинского (юго-восточный борт) и поперечных разломов. Известно большое количество источников. Среди них выделены [13] источники с минеральной водой:

– азотной сульфатной (Кучигерские, 36–50 °С; Гаргинский – 76 °С; Алгинские 20 °С; Инские 19 °С; Гусихинские 52–74 °С);

– гидрокарбонатно-сульфатной (Аллинские, 50–74 °С; Уринские, 25–68 °С; Болотные, 40 °С);

– хлоридно-сульфатной-гидрокарбонатной (Умхейские, 36–50 °С; Быстринские, 22–44 °С; Сеюйские, 52 °С);

– азотно-метановой карбонатной натриевой (Баргузинская скважина № 1).

Изучению и описанию Баргузинских минеральных вод посвящено значительное число научных публикаций и список пополняется постоянно. Одни исследования были посвящены закономерностям и условиям их формирования и распространения [5, 18], другие – изучению химизма, микробиологического состава, физических свойств, газового состава и их радиоактивности [15–17, 19]. Немало работ посвящено перспективам хозяйственного использования минеральных вод [4, 20]. Приведенные литературные сведения о температурах и ионному составу минеральных вод Баргузинского Прибайкалья представляют на сегодня лишь академический интерес. В организацию на их базе санаторно-курортного дела эти данные не вносят существенного вклада по двум причинам. Во-первых, все указанные минеральные источники остаются в категории проявлений минеральных вод и для перевода их в категорию месторождений необходим подсчет промышленных запасов посредством бурения скважин различных глубин. Во-вторых, до сих пор для всех указанных проявлений минеральных вод отсутствуют бальнеологические заключения Томского НИИ курортологии и физиотерапии.

Для перевода в категорию месторождений необходимо вложение огромных материальных и финансовых ресурсов, которых нет ни в региональном, ни в муниципальном бюджете. Поэтому необходим поиск альтернативных путей и кардинальных решений для выхода из тупиковой ситуации. Неоценимую помощь в этом деле может оказать типизация минеральных вод исследуемого района. С использованием исследований предшественников типизацию минеральных вод Баргузинского Прибайкалья провел С.П. Буслов [4]. При типизации минеральных вод учитывались: ионный состав, минерализация вод в г/л, максимальная температура в °С, наличие специфических компонентов, аналоги и близкие по лечебным свойствам источники, на которых действуют известные курорты, а также показания для лечения. Результаты исследований С.П. Буслова [4] показали:

– к Горячинскому типу минеральных вод (действует курорт регионального значения Горячинск) относятся Гаргинский и Инский источники;

– к Кульдурскому типу (действует курорт федерального значения Кульдур) – Гусихинский, Сеюйский, Умхейские, Кучигерские источники;

– к Аллинскому (Белокурихинскому (действует курорт федерального значения Белокуриха)) – Аллинский, Змеиный, Кулиных болот источники.

Таким образом, значительная часть минеральных источников Баргузина имеют аналоги по многим показателям на известных и функционирующих курортах России. Следовательно, изучив опыт работы действующих аналогов, можно организовать лечение на минеральных водах рассматриваемого региона. В этом случае отпадает необходимость проведения дорогостоящих специальных медицинских работ по установлению бальнеологических свойств местных минеральных вод. Поиск и установление аналогов – главное достоинство и преимущество гидротерм Баргузинского Прибайкалья.

Из всего многообразия и количества минеральных источников на стадии активного использования туристами уже многие десятилетия находятся Кучигерские, Умхейские, а в недавнем прошлом – Сеюйские и Аллинские минеральные источники. На их базе инициативами местных органов власти и ряда предприятий действуют так называемые «дикие курорты». Ниже даны их характеристика и описание.

Кучигерский источник. Кучигерский источник расположен у северо-западного борта Баргузинской впадины, в 5 км от с. Улюнхани, в 95 км на северо-восток от районного центра с. Курумкан. Термальные воды источника имеют групповой дебит 10–11 л/с. Температура воды в различных выходах колеблется от 21 до 75 °С. Основная разгрузка терм происходит на площади примерно 200х500 м² в месте погружения Баргузинского сброса под четвертичные отложения впадины. Многочисленные выходы горячей воды находятся в заболоченной низине.

По химическому составу вода Кучигерского источника относится к фтористому сероводородному гидрокарбонатно-сульфатному натриевому типу и по лечебным свойствам аналогична воде курорта Кульдур в Еврейской автономной области.

В зависимости от времени года вода видоизменяет свой химический состав. В летние месяцы в ней преобладают гидрокарбонаты, в зимний период значительно увеличивается удельный вес сульфатов [5].

Важное значение для бальнеологии имеет находящееся в районе выходов Кучигерских источников болото, содержащее огромные запасы лечебной грязи. И.М. Борисенко и Л.В. Замана [5] определяют запасы в 20–40 тыс. м³.

Кучигерская грязь представляет собой пластичную маслянистую густую, сметанообразную массу черного цвета с запахом сероводорода. Черный цвет является результатом присутствия в ней сернистого железа, которое находится в коллоидном состоянии, последнее придает ей свойства липкости и вязкости. Несмотря на большое содержание в ней воды, грязь не расплывается по поверхности потому, что ее связывает сернистое железо. Грязь обладает большой плотностью способностью задерживать в себе газы и соли из воды источников [22].

На базе минеральных источников функционирует водо-грязелечебница. Жилье здания представлены 10 неблагоустроенными корпусами МУП «Кучигер» на 130 мест, пансионатом районных электрических сетей на 27 мест, ванными домиками. Над источниками построено 5 ванных помещений. Большие запасы воды, лечебных грязей и близость к населенным пунктам являются надежной базой для крупного курорта.

Умхэйские источники расположены в северной части Баргузинской долины в 112 км от районного центра Курумкан и в 17 км от ближайшего населенного пун-

кта – села Улюнхан. Термы разгружаются на острове и по обоим берегам реки. Всего насчитывается до 150 отдельных головок. Два основных выхода, сливаясь, образуют горячее озеро шириной 20–30 м и длиной около 100 м. На острове Умхей расположены жилые постройки, ваннные помещения и водоем с горячей водой – озеро Горячее. Западный берег озера представляет собой грязевое болото с разбросанными по нему черными пятнами грязей и зеленоватыми точками выходов горячих вод.

Большинство грифонов с горячей и теплой водой, а их обнаружено 146, сосредоточено на острове, и лишь около 20 выходят на материковой стороне – по правому берегу р. Баргузина, а шурфами были обнаружены горячие воды и в 50 м от берега с температурой от 26 до 60 °С. Дебит источника 5–7 л/сек. Вода имеет сульфатно-гидрокарбонатный натриевый состав [21].

На основе источников в данное время функционирует водолечебница. Имеются 8 полублагоустроенных домиков на 40 мест, коттедж, ваннные домики. На источнике идет активное строительство. Рекомендуются организовать на Умхэйских источниках курорт регионального (сибирского) значения.

Описанные минеральные воды используются местным населением и приезжими с давних пор для лечения органов опорно-двигательного аппарата, кожных и других заболеваний. Минеральные воды Куцигера и Умхей относятся к «кульдурскому» типу вод, пользуются большой популярностью в Республике Бурятия и соседних регионах. По анкетному опросу сезона 2016 г. среди туристов преобладают приезжие из Иркутской области. Воды источников показаны для лечения заболеваний органов движения (опорно-двигательного аппарата человека), периферийной нервной системы, кожи, хронического воспаления женских половых органов, последствий травм костей и суставов и от фтородефицитных заболеваний [4]. «Дикие» курорты, организованные на их базе, действуют без лицензии на водопользование, без санитарно-эпидемиологического надзора, без всяких медицинских услуг и т.д. Поэтому больные лечатся методом проб и ошибок, на свой страх и риск, а местные жители используют опыт многолетней (а точнее – многовековой) практики. Известно немало случаев, когда больные получают осложнения своих болезней после ванн в результате отсутствия указаний по режиму приема процедур, режима отдыха и питания и т.д. С учетом указанных

обстоятельств необходим поиск путей перевода «дикого» лечебного туризма в цивилизованное русло.

По Е.В. Конышеву [10], рекреационно-лечебные занятия представляют систему занятий с жестко регулируемыми методами санаторно-курортного лечения. На рассматриваемых нами «диких» курортах лечение, как правило, осуществляется за рамками периода выходных дней, в основном в отпускное время тех, кто трудится. Анкетный опрос туристов в 2016 г. показал, что среди них преобладают люди предпенсионного возраста, приехавшие из Иркутской области.

С точки зрения современной географической и экономической наук одним из кардинальных методов решения проблем может послужить использование кластерного подхода в организации лечебно-оздоровительного туризма. Только кластерный подход может способствовать рациональной территориальной организации этого вида туризма за счет использования преимуществ групповой локализации объектов туристского освоения.

По В.И. Кружалину [12], туристско-рекреационные кластеры формируются на базе ключевых туристско-рекреационных ресурсов. В нашем случае к таковым относятся источники минеральных вод. Туристско-рекреационные кластеры – это группа географически соседствующих взаимосвязанных компаний, общественных организаций и связанных с ними органов государственного управления, формирующих и обслуживающих туристские потоки, использующие рекреационный потенциал территории [11].

Управляющая компания кластера представляет самостоятельное юридическое лицо, в основу организационных принципов положено государственно-частное партнерство, т.е. в управляющей компании должны быть представлены как администрация, так и бизнес-структуры, и общественные организации [11]. Государство вместе с другими заинтересованными силами может выступать в качестве одного из инициаторов процесса образования кластеров, но оно не играет главной роли в их организации и функционировании.

Как указывает А.П. Дунец [7], в целом управленческий подкомплекс обеспечивает планирование, регулирование, координацию и контроль туристско-рекреационной системы. Его эффективность определяется прежде всего деятельностью органов управления туризмом. В локальных класте-

рах, по нашему мнению, одну из ведущих ролей в управлении должно играть функционирование бизнес-структур управления. А.Ю. Александровой [2], фундаментально определены сущность и особенности туристско-рекреационных кластеров.

В.И. Кружалин, К.В. Кружалин [12] при проектировании региональной туристско-рекреационной системы предлагают выделить ядра как функциональные экологические и планировочные центры районов и зон. К ядру Верхне-Баргузинского лечебно-оздоровительного туристского кластера относятся используемые минеральные источники Кучигер и Умхей.

Е.Ю. Колбовский [9] рассматривает вопросы рекреационного районирования на основе концепции формирования туристско-рекреационных систем, среди композиционных типов выделяют ядра как функциональные экологические и планировочные центры районов. По А.А. Дорофееву [6] эти ядра могут по районированию рекреационных систем и должны быть с географической точки зрения отнесены или приравнены к рекреационным узлам или микрорайонам.

Е.С. Агеева [1], рассматривая развитие туристского кластера Вологодской области, считает, что в приоритетах экономической политики региона находится создание туристских кластеров. По ее мнению, туристский кластер – это система взаимосвязанных фирм, организаций, учреждений и связанных с ними органов исполнительной государственной власти, формирующих и обслуживающих туристские потоки с использованием туристско-рекреационного потенциала территорий. В этом определении упущен главный фактор формирования кластера, а именно географическая близость и сопряженность ядер кластерообразующих природных ресурсов.

Т.А. Ирисовой [8] в числе факторов определены перспективности территории, выделяют богатство (качество) и разнообразие рекреационных природных ресурсов, уникальность рекреационного потенциала, уровень развития инфраструктуры, заинтересованность в развитии туризма местной администрации. Что касается вопросов формирования Верхне-Баргузинского туристского лечебно-оздоровительного кластера, существуют все указанные факторы.

Мировой опыт показывает, что кластерный подход предполагает развитие различных форм именно государственно-частного партнерства и реализацию программно-це-

левых методов управления [16]. Оно считается наиболее прогрессивной формой сотрудничества государства и частного капитала и в России только начинает внедряться.

При сотрудничестве в сфере реализации проекта развития лечебно-оздоровительного туризма на основе освоения природных лечебных ресурсов в функцию государства входят:

- строительство объектов инфраструктуры (дорог, объектов электро- и водоснабжения и т.д.);

- подготовка промышленных запасов минеральных вод и лечебных грязей;

- финансирование и получение балансового заключения по каждому объекту освоения;

- подготовка пакета документов по земельным, водным, лесным отношениям, в т.ч. договора аренды, концессионным соглашениям. Инвестор вкладывает средства и приступает к возведению объектов санаторно-курортного комплекса.

А.Ю. Александрова [3] считает, что для развития туристской индустрии жизненно важным является наличие предпринимателей разных категорий. При государственно-частном партнерстве инвестиции поступают именно со стороны государства и предпринимателей. Инвестиции представляют собой поток, благодаря которому происходит приумножение существующего запаса капитальных благ (зданий, производственного оборудования, транспортных средств и т.д.) за определенный отрезок времени [3].

На основе государственно-частного партнерства может быть сформирован муниципальный Верхне-Баргузинский лечебно-оздоровительный кластер. Ядром кластера выступают ныне действующие «дикие» курорты – Кучигерский, Умхейский, а в будущем Сеюйский, Аллинский, ряд сопутствующих производств по продовольственному снабжению, транспортному обслуживанию, торговле и других объектов сферы услуг.

К числу важнейших социальных факторов, определяющих необходимость формирования регионального бренда «Баргузинские минеральные воды», относятся:

- для жителей Сибири выезд на лечение на лучшие курорты юга России практически противопоказан, т.к. меняются не только часовая пояс, но и природно-климатические условия, требующие значительного времени на адаптацию и реадaptацию человеческого организма к быстро меняющимся условиям среды;

– резкое удорожание тарифов на авиационные и железнодорожные услуги, а также стоимости путевок, что делает практически невозможным лечение на других курортах граждан с низким уровнем доходов, к которым относится большинство населения Сибири, в т.ч. и Бурятии.

С учетом указанных факторов следует считать, что в интересах социально слабо защищенных слоев населения Бурятии и соседних регионов приоритетным является организация санаторно-курортного дела на местных минеральных водах. Формирование бренда позволит расширить популярность этих вод и привлечь внимание отечественных и иностранных инвесторов.

Список литературы

1. Агеева Е.С. Развитие туристского кластера как приоритетного направления экономической политики Вологодской области [Текст] / Е.С. Агеева // Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования: тр. V Международ. науч.- практ. конф. – 2010. – С. 302–307.
2. Александрова А.Ю. Сущность и особенности туристских кластеров [Текст] / А.Ю. Александрова // Рекреационное природопользование, туризм и устойчивое развитие регионов. – 2007. – С. 13–16.
3. Александрова А.Ю. Ресурсный потенциал туристской деятельности: новые подходы к определению, современные трансформации и перспективы направления развития [Текст] / А.Ю. Александрова // Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования: тр. V Международ. науч.- практ. конф. – 2010. – С. 61–69.
4. Баргузинская котловина: в прошлом, настоящем и будущем [Текст] / К.Ш. Шагжиев, С.П. Буслов, А.Б. Буянтуев и др. – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 1993. – 157 с.
5. Борисенко И.М. Минеральные воды Бурятской АССР [Текст] / И.М. Борисенко, Л.В. Замана. – Улан-Удэ: Бурятск. кн. изд-во, 1978. – 164 с.
6. Дорофеев А.А. Иерархия территориальных рекреационных систем и некоторые вопросы рекреационного районирования [Текст] / А.А. Дорофеев // Рекреационная география: идеи, методы, практика. – 2006. – С. 80–91.
7. Дунец А.Н. Пространственная организация и планирование туристско-рекреационных систем [Текст] / А.Н. Дунец // Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования: тр. V Международ. науч.- практ. конф. – 2010. – С. 343–349.
8. Ирисова Т.А. К вопросу об изменении подходов к рекреационному районированию России [Текст] / Т.А. Ирисова // Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования. – 2006. – С. 337–339.
9. Колбовский Е.Ю. Экологический туризм и экология туризма [Текст] / Е.Ю. Колбовский. – М.: Академия, 2006. – 256 с.
10. Конышев Е.В. Рекреационные потребности населения как основа для модифицирования туристско-рекреационных систем [Текст] / Е.В. Конышев // Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования: тр. V Международ. науч.- практ. конф. – 2010. – С. 539–545.
11. Кружалин В.И. Государственно-частное партнерство и формирование туристско-рекреационных кластеров [Текст] / В.И. Кружалин // Вестник Национальной академии туризма. – 2009. – № 2. – С. 53–61.
12. Кружалин В.И. Пространственная организация рекреации и туризма в регионах России [Текст] / В.И. Кружалин, К.В. Кружалин // Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования. Тр. V Международ. науч.-практ. конф. – 2010. – С. 19–29.
13. Лысак С.В. Геотермические условия и термальные воды южной части Восточной Сибири [Текст] / С.В. Лысак. – М.: Наука, 1968. – 120 с.
14. Минеральные воды южной части Восточной Сибири в двух томах. Минеральные источники, скважины, вскрытые минеральные воды и минеральные озера [Текст] / ред. Н.А. Власовой, В.Г. Ткачук, Н.Н. Толстихина. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 200 с.
15. Минеральные источники и озера Баргузинской долины [Текст] / Б.Б. Намсараев, С.В. Затуев, А.Б. Иметхенов и др. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятск. гос. ун-та, 2007. – 100 с.
16. Намсараев Б.Б. Водные системы Баргузинской котловины [Текст] / Б.Б. Намсараев, В.В. Хахинов, Е.Ж. Гармаев. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятск. гос. ун-та, 2007. – 152 с.
17. Формирование ресурсов и химического состава поверхностных и подземных вод междуречья Хилка и Чикоя [Текст] / А.М. Плюснин [и др.] // География и природные ресурсы. – 2015. – № 1. – С. 125–134.
18. Условия формирования гидротерм Баргузинского Прибайкалья по данным микроэлементного и изотопного состава [Текст] / А.М. Плюснин [и др.] // Геохимия. – 2008. – № 10. – С. 1–10.
19. Гидрогеохимические особенности состава азотных терм Байкальской рифтовой зоны [Текст] / А.М. Плюснин [и др.] // Геология и геофизика. – 2013. – № 5. – С. 647–664.
20. Чернявский М.К. Комплексное использование гидротерм Баргузинской долины [Текст] / М.К. Чернявский // Вестник ВСГУТУ. – 2012. – № 4. – С. 234–240.
21. Геоэкологические и гидрогеохимические особенности Умхэйских термальных источников [Текст] / М.К. Чернявский // Вестник ВГУ. – 2016. – № 2. – С. 63–66.
22. Чернявский М.К. Месторождения термальных вод северной части Баргузинской впадины // Минералогия Северо-Восточной Азии: материалы III Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 20-летию кафедры геологии Бурятского государственного университета. – Улан-Удэ: ИД «Экос», 2012. – С. 195–199.

УДК 911.3:502

ОСОБЕННОСТИ РАССМОТРЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

Шаяхметов М.С.

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт экономики, управления
и финансов, Казань, e-mail: doobox@gmail.com*

Со второй половины XX столетия человечество заинтересовано в решении проблем социального неравенства, истощения природных ресурсов и загрязнения окружающей среды. Появление самых разнообразных производств, быстрый рост численности населения и возникновение крупных социальных конфликтов приводят к тому, что масштабы экологической и социально-экономической напряженности, в условиях ограниченности количественного роста глобальной экономики, постоянно усиливаются. Подобное обстоятельство значительно сокращает возможности развития для последующих поколений. В ответ на сложившиеся проблемы, с целью повышения уровня жизни людей, сформировалась Концепция устойчивого развития, учитывающая при этом потребности будущих поколений. Статья посвящена региональному уровню устойчивого развития. На основе данных различных литературных источников приведены некоторые трактовки термина «регион». Показано, что стратегическое планирование на региональном уровне, с целью недопущения противоречий, должно проводиться с учётом социальных, экономических и экологических целей – как на глобальном, так и на районном и локальном уровнях.

Ключевые слова: устойчивое развитие региона, регион, территориальное развитие, рациональное природопользование

THE MAIN CHARACTERISTICS OF SUSTAINABLE REGIONAL DEVELOPMENT

Shayakhmetov M.S.

*Kazan (Volga region) Federal University, The Institute of Management, Economics and Finance,
Kazan, e-mail: doobox@gmail.com*

As mankind entered the second half of twentieth century, it became worried about social inequality, exhaustion of natural resources, and environmental pollution. Since there are natural limits to quantitative growth of global economy, there is always instability in social, ecological and economic systems. Due to many factors including rising number of polluting industries, the rapid growth of population, and social conflicts the instability of global ecosystem is ever-increasing. Therefore, strong, sustainable and balanced growth is of a great importance since the unstable condition of global ecosystem is a threat to future generations. The article briefly aims the conception of sustainable development at the regional level. The text includes the different views on the phenomenon of 'region' based on the literary analysis. Moreover, it is emphasized that for avoiding contradictions the strategic planning of sustainable development should be carried out with account to local and global goals.

Keywords: sustainable regional development, region, territorial development, ecological management

Широкая индустриализация общества, произошедшая на рубеже XIX–XX вв., рост численности населения, а также увеличение объёмов потребления природных ресурсов создали предпосылки для коренных преобразований человеком окружающей природной среды. Развитие новых производств и техники привело к тому, что в XX в. антропогенное влияние стало затрагивать не только географические оболочки Земли – атмосферу, гидросферу, литосферу и биосферу, – но и космическое пространство. Вследствие этого с середины XX века возникла острая необходимость защиты окружающей среды и улучшения благосостояния людей. На волне всеобщей заинтересованности будущим планеты, в 1983 г. была создана «Всемирная комиссия по окружающей среде и развитию» (Комиссия Брундтланд). На основе материалов многочисленных совещаний, проведенных по

всему миру, в 1987 г. Комиссией был представлен доклад «Наше общее будущее», заложивший основы Концепции устойчивого развития – «устойчивое развитие стремится учитывать потребности настоящего времени, не ставя под угрозу способность учитывать их в будущих условиях» [7]. В 1992 г. в Рио-де-Жанейро была созвана Конференция ООН по окружающей среде и развитию («Саммит Земли»), где при участии политических и общественных деятелей стран «Севера» и «Юга» Концепция устойчивого развития получила официальное принятие.

После обсуждения насущных проблем на «Саммите Земли» стало очевидно, что сложность устройства человеческого общества и природы планеты, системность всех происходящих явлений накладывают особый отпечаток на процесс реализации Концепции устойчивого развития. Стратегическое планирование устойчивого

развития в условиях иерархичности и системности природно-социальных систем невозможно представить без разделения всей цельной глобальной системы планеты на отдельные взаимосвязанные соподчиненные уровни, различные по масштабу: глобальный, государственный (национальный), региональный, районный (муниципальный), локальный.

Таким образом, начиная с 1990-х гг. наметилась положительная тенденция к более глубокому исследованию проблем устойчивого развития. На современном этапе развития общества наблюдается закономерное дробление Концепции устойчивого развития на отдельные части, в зависимости от специфики территории, на которую обращено внимание, в связи с чем появился термин «устойчивое развитие территорий».

Сам термин «территория» в данном случае должен пониматься как часть твердой поверхности (суши) Земли в определенных природных, административных, политических и иных границах, наполненная характерными природными и антропогенными явлениями, обладающая при этом определенной устойчивостью, которая обуславливает её ёмкость. Территория, как часть географического пространства, обладает такими «качествами», как протяженность (площадь), географическое положение и др. Следует отметить, что рассмотрение идей устойчивого развития в территориальном аспекте должно предполагать учёт уникальных особенностей местностей и сбалансированное использование их человеческого и природного потенциала, что позволит с большей вероятностью выйти на уровень устойчивого развития.

Переходя к региональному уровню устойчивого развития территорий, необходимо подчеркнуть, что одной из особенностей данной категории является сложность и многоаспектность такого феномена, как «регион». В настоящий момент существует множество трактовок термина «регион», относящихся к разным научным дисциплинам [6, 8, 9]. Данное обстоятельство позволяет понимать под регионом совершенно разные образования [8]:

- территории со сходными таксономическими характеристиками;
- субъект Российской Федерации;
- часть территории страны, обладающая общностью природных, социально-экономических, национально-культурных и других условий;
- синоним понятия «район» и другие.

Имеет смысл привести несколько существующих определений, которые могут быть применимы для раскрытия феномена «региона»:

– «...группа стран, которые по многим параметрам больше взаимосвязаны между собой, чем с иными странами» [10];

– «определенная территория, отличающаяся от других территорий рядом признаков и обладающая некоторой целостностью, взаимосвязанностью составляющих её элементов» [1];

– «крупная территория страны с более или менее однородными природными условиями и характерной направленностью развития производительных сил на основе сочетания комплекса природных ресурсов с соответствующей сложившейся и перспективной материально-технической базой, производственной и социальной инфраструктурой» (Н.Н. Некрасов) [7].

Таким образом, регионом может быть:

а) крупное транснациональное образование, охватывающее сразу несколько государств – Азиатско-Тихоокеанский, Балтийский и др. регионы. Следует отметить, что в составе подобных регионов не обязательно находится вся территория какой-либо страны. Так, например, в состав Балтийского региона от Российской Федерации входят: Санкт-Петербург, Ленинградская, Псковская, Новгородская и Калининградская области, республика Карелия [4];

б) трансграничное образование, разделенное государственной границей между соседствующими государствами, обладающее при этом комплексом специфических национальных, региональных, локальных элементов, отражающих их историческое и культурное своеобразие [2];

в) территориальное образование внутри одной страны.

Первые два пункта (а, б) относятся к международным образованиям: транснациональные регионы (а) образуются взаимодействием государств (по политическим и экономическим интересам) либо объединяют сходные в каком-то существенном отношении государства (по социально-культурным особенностям); трансграничные регионы (б) возникают в ходе сотрудничества административно-территориальных и муниципальных образований соседних государств [3].

В отношении пункта (в), применительно к территории Российской Федерации, необходимо отметить, что в научной практике существует три категории образований:

– «макрорегион» – объединение территорий двух и более субъектов Российской Федерации (при выделении отдельных направлений и приоритетов стратегического планирования);

– «мезорегион» – субъекты Российской Федерации (края, области, автономные округа и республики);

– «микрорегион» – низовые административные (муниципальные) районы.

В целях успешного воплощения в жизнь Концепции устойчивого развития собственно региональным уровнем устойчивого развития, по-видимому, следует считать уровень субъекта Российской Федерации (мезорегиона), руководствуясь политико-административным аспектом, поскольку данные образования отличаются развитой структурой управления и имеют практически полный состав функций, в отличие, к примеру, от регионов макроуровня. Субъекты федерации имеют чёткие границы и органы государственной власти в центрах. Помимо этого, они имеют право принимать собственные законы, что может послужить некоторым «двигателем» устойчивого развития. Также имеется возможность разработки программ экологического и социально-экономического плана, в целях улучшения ситуации в регионе.

Главной особенностью регионального уровня устойчивого развития становится то, что экологические и социально-экономические проблемы устойчивого развития здесь перестают быть абстрактными, в отличие от глобального и государственного (национального) уровней. Органы регионального управления заинтересованы в улучшении ситуации в регионе, ввиду того, что «видят» его сами и ощущают недовольство населения региона.

«Абстрактные» цели устойчивого развития, обозначенные в «Повестке-2030», принятой в 2015 г. на саммите в Нью-Йорке, и уточнённые согласно государственным интересам, на региональном уровне значительно трансформируются, поскольку различные регионы планеты имеют свои характерные проблемы устойчивого развития и их масштаб проявления. Незменным остаётся одно – устойчивое развитие на уровне региона должно обеспечиваться обязательной совокупностью социальных, экономических, политических и экологических составляющих в их взаимосвязи.

Устойчивое развитие России на региональном уровне отличается особой сложностью, поскольку субъекты федерации

отличаются значительным разнообразием географического положения, размеров, природных условий, путей исторического развития, социальных портретов, что определяет их современное состояние и перспективы развития. Необходимо отметить пёстрый национальный состав России – более 190 народов (в том числе и коренных малых), что обуславливает различие в культурах и укладе жизни по территории страны. Специфика природных условий, структура и размещение хозяйства в значительной мере определяют состояние окружающей природной среды регионов.

К барьерам на пути устойчивого развития регионов можно также отнести:

– ограниченность бюджета региона и недостаточную финансовую (техническую или иную) помощь со стороны органов управления на уровне государств;

– трудность в поиске общих решений, если региональная проблема вызвана проблемами нескольких субъектов федерации (в случае с транснациональными и трансграничными регионами – нескольких государств);

– неравномерность развития территории региона;

– достаточно большая площадь региона, в связи с чем регион становится довольно разнороден по природным условиям и социальному портрету. Данное обстоятельство затрудняет ведение эффективной работы в области устойчивого развития. В качестве примера можно привести Красноярский край, протяженность которого с севера на юг составляет около 3000 км.

В целях поиска конкретных решений определённых экологических и социально-экономических проблем необходим учёт специфики каждого региона. В связи с этим многократно возрастает роль региональных исполнительных и представительных органов власти [5]. От их действий во многом зависит эффективность использования методик государственного воздействия и контроля в области обеспечения устойчивости социо-эколого-экономической системы региона.

Учёт специфики регионов становится крайне необходимым при разработке индикаторов устойчивого развития. Индикаторы на уровне региона должны чётко показывать, по какому пути идёт регион – устойчивого или «неустойчивого» развития. Благодаря им становится возможным определение существующих проблем и положительных подвижек в социо-эколого-экономической

системе региона. Специфика различия регионов накладывает определённые сложности на процесс разработки индикаторов, поскольку невозможно ввести полностью универсальные региональные комплексы индикаторов, которые были бы одинаково полезными, к примеру, для Мурманской области, Республики Татарстан и Камчатского края. Следовательно, индикаторы регионов должны иметь отличительные черты «по горизонтали», т.е. от региона к региону. Таким образом, степень различия в индикаторах будет зависеть от степени различий регионов между собой. Однако в любом случае наборы индикаторов в каждом регионе не должны иметь хаотичный характер, а требуют тщательного обоснования и наличия «сквозных» индикаторов по общим для всех территорий вопросам, таким как качество вод рек, озёр, количество потребления природных ресурсов и т.п.

Без преувеличения следует отметить, что состояние всей социо-эколого-экономической системы региона в целом зависит от благополучия каждого муниципального образования (если не брать в расчёт проблемы межрегионального характера). Следовательно, значительную роль в переходе региона на «устойчивые» рельсы играют продуманные и комплексные стратегии устойчивого развития на уровне муниципальных образований. К сожалению, необходимо подчеркнуть, что реализация Концепции устойчивого развития на муниципальном уровне в настоящее время значительно затруднена. Принятые муниципалитетами стратегии устойчивого развития отличаются различной глубиной проработки проблем и решений. Также наблюдается некоторое «выпадение» из рассмотрения экологической сферы, при этом упор сделан только на экономическую и социальную сферы, что совершенно противоречит комплексности Концепции устойчивого развития. Должное качество жизни населения, развитие культуры, рост и диверсификация экономики страны, могут быть обеспечены при условии приемлемого для жизни состояния окружающей природной среды. В связи с этим разработка тщательно продуманных стратегий устойчивого развития территорий с учётом социальной, экологической и экономической составляющих в их взаимосвязи имеет и будет иметь огромное значение для настоящих и будущих поколений людей.

Формулируя приоритеты и цели устойчивого развития, региональные власти

должны обязательно руководствоваться запросами, исходящими как от высших уровней устойчивого развития (глобальный, государственный) (сокращение эмиссий парниковых газов и др.), так и низших (районный, локальный) (в примере, улучшение жилищных условий в отдельно взятом населённом пункте и др.). Следует заметить, что между целями, свойственными различным уровням территориальной организации, возможно появление противоречий, поскольку цели, которые ставит перед собой глобальное сообщество в целом, могут быть не поняты местным населением [10].

Рассматривая устойчивое развитие на уровне региона, необходимо понимать, что регион представляет собой как самостоятельное образование, обладающее собственной устойчивостью, включающее в себя муниципальные и локальные образования, так и является частью более сложных уровней (национального и глобального) и оказывает на них влияние.

В заключение следует отметить, что исключительное природное, культурное и социально-экономическое разнообразие регионов мира затрудняет применение опытов между территориями, поэтому встает острая необходимость разрабатывать не только универсальные индикаторы для регионов, но и уникальные методики решения проблем, учитывающие специфику каждого региона. Поскольку в России на разных территориях существенно меняются как природные, так и социально-экономические условия, то системы индикаторов устойчивого развития должны быть адаптированы к той или иной территории. Российская Федерация, как самое крупное по площади государство на планете, должна особым образом подойти к реализации концепции устойчивого развития, поскольку оказывает большое влияние на устойчивость глобальной системы ввиду исключительного природного разнообразия, крупных запасов полезных ископаемых, пресной воды и лесных ресурсов. Однако ввиду огромной территории страны (в особенности протяжённости с запада на восток) переход на рельсы устойчивого развития становится весьма серьёзной национальной проблемой. Объективной трудностью выступает резкая дифференциация субъектов России по уровню их социально-экономического развития и экологическому состоянию.

Обеспечение устойчивого развития территорий является одной из приоритетных задач во всём мире. Исключительную важ-

ность при этом имеют знание и понимание факторов, вызывающих позитивные или негативные изменения в развитии территорий. При стратегическом планировании устойчивого развития на региональном уровне следует ориентироваться как на глобальные нужды, отраженные в целях устойчивого развития, так и на конкретные проблемы отдельных территорий, входящих в регион. В этой связи большую роль в развитии территорий играют научно обоснованные стратегии устойчивого развития, созданные на уровне муниципалитетов. В общем виде целеполагание должно вестись по принципу «мысли глобально, действуй локально».

В практике поддержки развития территорий регионов со стороны государства и самих органов региональной власти необходим обязательный учёт не только социально-экономических, но и экологических факторов устойчивого развития.

Список литературы

1. Гранберг А.Г. Региональная экономика и региональная наука в России: десять лет спустя // Регион: экономика и социология. – 2004. – № 1. – С. 57–81.
2. Колпакова Т.В. Трансграничный регион как форма организации социокультурного пространства (на примере Байкальского региона РФ и Северо-Восточного региона КНР) / Т.В. Колпакова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–5. – С. 1192–1196.
3. Корнеев В.С. Международные транснациональные и трансграничные регионы: признаки, особенности, иерархия / В.С. Корнеев // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. – 2010. – № 1. – С. 27–34.
4. Корнеев В.С. Понятия «страны Балтийского региона» и «Балтийский регион» / В.С. Корнеев // Космополис. – 2008. – № 2 (21). – С. 68–77.
5. Локтев А.В., Меньщикова В.И. Устойчивое развитие экономики региона: основные условия и механизм обеспечения / А.В. Локтев, В.И. Меньщикова // Социально-экономические явления и процессы. – 2012. – № 10. – С. 115–122.
6. Межевич Н.М. Определение категории «регион» в современном научном дискурсе // Псковский регионалистический журнал. – 2006. – № 2. – С. 3–22.
7. Наше общее будущее: Доклад Международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР): пер. с англ.; под ред. С.А. Евтеева и Р.А. Перелета. – М.: Прогресс, 1989. – 372 с.
8. Панасюк М.В. Управление регионом: территориальный подход: монография / М.В. Панасюк. – Казань: Фолиант, 2005. – 161 с.
9. Протасов А.С. Соотношение понятий «регион» и «региональная экономика» / Протасов А.С. // Вестник Челябинского государственного университета. Серия Экономика (вып. 17). – 2009. – № 1 (139). – С. 53–56.
10. Фоменко Г.А. Целеполагание в управлении природоохранной деятельностью на устойчивой основе / Г.А. Фоменко // Бюллетень «На пути к устойчивому развитию России». – 2015. – № 71. – С. 10–22.

УДК 502/504:631.412 (571.17)

**МОНИТОРИНГ ПОЧВ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ
НА СОДЕРЖАНИЕ МЫШЬЯКА****¹Шульгин Н.В., ¹Свиркова С.В., ²Ефременко М.П., ¹Заушинцева А.В., ³Шульгина О.А.**¹ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово,
e-mail: Shylgin.NV@gmail.com, svsvirkova@yandex.ru, alexaz58@yandex.ru;²ФГБУ ЦАС «Кемеровский», Кемерово;³ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт»,
Кемерово, e-mail: Oljasha19@yandex.ru

В статье представлены результаты мониторинга по содержанию валовых форм мышьяка в почвах Кемеровской области за 2010–2016 гг. Ежегодное повышение концентрации мышьяка отмечено в почве сельскохозяйственного производственного кооператива «Береговой» Кемеровского района на участке № 1, крестьянско-фермерского хозяйства В.В. Хонина Топкинского района и крестьянско-фермерского хозяйства «Правда» Беловского района. В 2010–2012 гг. в большинстве почв содержание валовых форм мышьяка в поверхностном слое (0–5 см) почвы было ниже ПДК. С 2013 г. концентрация элемента в 3–9 раз увеличилась в почве реперных участков ООО СХП «Новые зори» Юргинского района, в 1,6–5 раз – в СПК «Береговой» участок № 2, ООО «Селяна» Кемеровского района; ООО «Спутник» Промышленновского района; ООО «Юргинское» Юргинского района; КФХ «Правда» Беловского района. А в 2014–2016 гг. содержание изучаемого элемента в почвах представленных районов Кемеровской области увеличилось в среднем в 2–4 раза, но ПДК в этом слое почвы не превышало. Концентрация валовых форм мышьяка на глубине массового расположения корней (0–40 см) всех реперных участков находилась в 2014 и 2016 гг. ниже уровня ПДК с учетом фона Кларка для черноземных почв. На глубине отбора почвенной пробы ниже 40 см в некоторых вариантах также зарегистрирована концентрация, превышающая ПДК. Она соответствовала второму уровню загрязнения (низкому). Содержание мышьяка на всех реперных участках на глубине 60–100 см изменялось от 5,79 до 9,29 мг/кг. Максимальная концентрация элемента (8,49 и 9,29 мг/кг) отмечена в почве, принадлежащей ООО «Селяна» (Кемеровский район), на глубине 60–80 и 80–100 см.

Ключевые слова: почва, мониторинг, токсичные элементы, мышьяк, ПДК, загрязнение почв**SOIL MONITORING KEMEROVO REGION ON THE ARSENIC CONTENT****¹Shulgin N.V., ¹Svirkova S.V., ²Efremenko M.P., ¹Zaushintsen A.V., ³Shulgina O.A.**¹Kemerovo State University, Kemerovo, e-mail: Shylgin.NV@gmail.com,
svsvirkova@yandex.ru, alexaz58@yandex.ru;²Federal state-financed institution TSAS «Kemerovskiy», Kemerovo;³Kemerovo State Agricultural Institute, Kemerovo, e-mail: Oljasha19@yandex.ru

This article presents the monitoring results of the content of arsenic gross forms in soils of Kemerovo region in the period of 2010–2016. Annual increase of arsenic concentration is observed in the soil of agricultural production cooperative «Beregovoi» Kemerovo region at the sampling site № 1, the farm of Khonin V.V. in Topkinsky district and the farm «Pravda» in Belovsky district. In the period of 2010–2012 in the most soils the contents of arsenic gross forms in the surface soil layer (0–5 cm) was below the maximum permissible concentration. Since 2013, the concentration of the element increased in a 3–9-fold in the soil reference sites of LLC (Limited Liability Company) AP «New dawns» Yurginsky district, in 1,6–5 fold in sampling site № 2 of agricultural production cooperative «Beregovoi»; LLC «Selyana» of the Kemerovo region; LLC «Sputnik» Promyshlennovskiy district, LLC «Yurginskoye» Yurginsky district, Farm «Pravda» in Belovsky district. During 2014–2016 the content of the studied element in the soils of the represented districts of Kemerovo region has increased on average 2–4 times, but the maximum permissible concentration in this soil layer was not exceeded. In 2014 and 2016 the concentration of arsenic gross forms at a depth of a root mass location of all reference sites (0–40 cm) was below the level of the MPC, taking into account the background of Clark for chernozem soils. A concentration exceeding the maximum permissible concentration was at a depth of a soil sample selection below 40 cm in some versions also. It corresponded to the second level of pollution (low). The arsenic content in all reference sites at a depth of 60–100 cm was changed from 5,79 to 9,29 mg/kg. The maximum concentration of the element (8,49 and 9,29 mg/kg) was observed in the soil, owned by LLC «Seljana» (Kemerovo region) at a depth of 60–80 and 80–100 cm.

Keywords: soil, monitoring, toxic elements, arsenic, maximum permissible concentration, soil contamination

Охрана окружающей природной среды стала важной задачей общества в регионах с развитой индустрией. Кемеровская область занимает ведущее место в Западной Сибири по объему промышленного производства и является высоко урбанизированной территорией. По данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Кемеров-

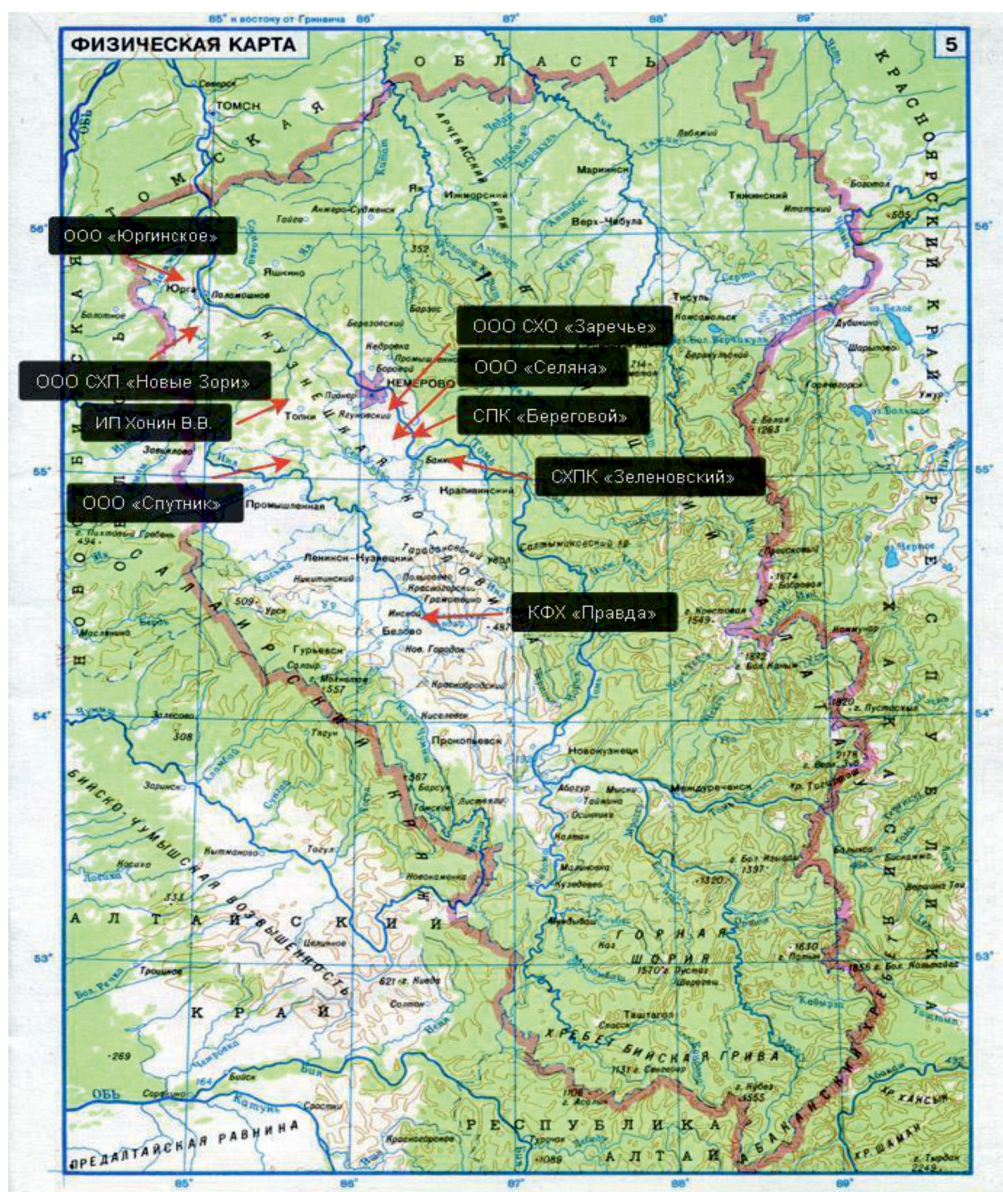
ской области [15] и Международного промышленного портала [12], на сравнительно небольшой площади (95,7 тыс. км²) проживает 22 % населения (около 3 млн человек) и сосредоточено около 30 % производственного потенциала Сибири.

Кузбасс относится к регионам с высокой техногенной нагрузкой на почву и на экосферу в целом. По оценке специали-

стов [17, 20], площадь нарушенных земель составляла около 250 тыс. га, а общие потери земельного фонда соответствовали 16 % от всей территории.

Деятельность горнодобывающих и металлургических предприятий, активная работа автотранспорта, нерегламентированное использование пестицидов и минеральных удобрений нередко становятся причиной химической деградации почвы. Она проявляется в загрязнении её токсическими элементами, такими как кадмий, свинец, мышьяк, ртуть, хром и др. Аккумулируясь в почве, эти элементы снижают жизнедеятельность и скорость управляемых ими биохимиче-

ских процессов [14]. А их распространение по пищевым цепочкам неизбежно приводит к ослаблению эколого-токсикологической ситуации в регионе, которая связана с ухудшением здоровья населения. За счёт снижения под воздействием тяжёлых металлов физиологической активности органов и их систем и образования атипичных клеток развиваются тяжёлые заболевания кожных покровов и внутренних органов [14, 22]. Среди токсичных элементов мышьяк относят к наиболее опасным. Поэтому контроль уровня его концентрации в почве, воде и растениях является важным мероприятием эколого-токсикологического мониторинга.



Географическое положение сельскохозяйственных предприятий Кемеровской области с реперными участками

Научные работы по содержанию мышьяка в почве и его влиянию на экологические свойства и функции почвы приведены в работах отечественных и зарубежных учёных [1, 2, 4, 11, 14, 19, 21, 23]. Особую актуальность такие исследования приобретают в регионах интенсивного развития сельскохозяйственного производства. К таким регионам относится и Кузбасс.

Цель исследования: оценить агрогенные почвы Кемеровской области по содержанию мышьяка.

Материалы и методы исследования

Эколого-токсикологический мониторинг осуществлен в цикле 2010–2016 гг. на 10 реперных участках сельскохозяйственных предприятий в 6 районах Кемеровской области: Кемеровском (СПК «Береговой» участки № 1 и № 2, ООО СХО «Заречье» отделение «Новостройка», ООО «Селяна»); Беловском (КФХ «Правда»); Крапивинском (ООО «СПК Зеленовский»); Промышленновском (ООО «Спутник»); Топкинском (КФХ Хонина В.В.); Юргинском (ООО СХП «Новые зори», ООО «Юргинское») (рисунок).

Отбор почвенных проб проведён с глубины 0–5, 5–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100 см согласно Методическим указаниям по проведению локального мониторинга на реперных участках [13] и по ГОСТ 17.4.3.01-83 [5].

Лабораторные исследования выполняли в лаборатории анализа почв и агрохимикатов ФГБУ Центра агрохимической службы «Кемеровский», руководствуясь следующими принятыми и апробированными в научных учреждениях страны методами (фотометрический метод определения мышьяка [3, 10]), утвержденными Государственными стандартами (ГОСТ Р ИСО 11464:2011 [6]; ГОСТ 17.4.3.03-85 [7], ГОСТ 17.4.3.06-86 [8]; ГОСТ 17.4.102-83 [9] и нормативными документами (Руководство по санитарно-химическому исследованию почв [18]). Определение уровня загрязнения почв мышьяком проводили по показателям, которые представлены в табл. 1.

Результаты исследования и их обсуждение

Мониторинг почв по содержанию мышьяка в хозяйствах Кемеровской области в цикле 2010–2016 гг. показал его нестабильное накопление территориально, по глубине почвенного профиля и по годам (табл. 2). Ежегодное повышение концентрации мышьяка отмечено в почве сельскохозяйственного производственного кооператива «Бе-

реговой» Кемеровского района на участке № 1, крестьянско-фермерского хозяйства В.В. Хониной Топкинского района и крестьянско-фермерского хозяйства «Правда» Беловского района. Близкое расположение этих хозяйств к довольно оживленной автотрассе Кемерово – Новокузнецк, а также использование нефтепродуктов, каменного угля и мышьякосодействующих пестицидов в разные годы, вероятно, стало причиной аккумуляции изучаемого элемента в почве. В других хозяйствах области накопление мышьяка, помимо внешних причин, может быть вызвано его химическими свойствами, возможностью изменять аллотропную форму (приспосабливаться) при изменении окислительно-восстановительных процессов в почве.

В 2010–2012 гг. во всех изученных хозяйствах, за исключением ООО СХО «Заречье» отделение «Новостройка» (Кемеровский район) и ООО «СПК Зеленовский» (Крапивинский район), содержание валовых форм мышьяка в поверхностном слое (0–5 см) почвы было ниже ПДК, которая для мышьяка составляет 2 мг/кг, а с учётом фона Кларка для черноземных почв – 7,6 мг/кг [23].

С 2013 г. отмечено резкое увеличение концентрации элемента в почве некоторых сельскохозяйственных предприятий. Почти в 3–9 раз возросла она в почве реперных участков ООО СХП «Новые зори» Юргинского района, в 1,6–5 раз – в СПК «Береговой» участок № 2, ООО «Селяна» Кемеровского района; ООО «Спутник» Промышленновского района; ООО «Юргинское» Юргинского района; КФХ «Правда» Беловского района. А в 2014–2016 гг. содержание изучаемого элемента в почвах представленных районов Кемеровской области увеличилось в среднем в 2–4 раза, но ПДК в этом слое почвы не превышало. В 2016 г. в почвах большинства хозяйств произошло увеличение концентрации мышьяка, по сравнению с 2014 г., на 0,16–1,89 мг/кг. Исключение составили почвы ООО «Спутник» Промышленновского района, ООО СХО «Заречье» отделение «Новостройка», ООО «Селяна» Кемеровского района, КФХ В.В. Хонина Топкинского района, в которых количество этого элемента по годам практически не изменилось, или было ниже уровня 2014 г.

Содержание валовых форм мышьяка на глубине массового расположения корней (0–40 см) всех реперных участков находилось в 2014 и 2016 гг. ниже уровня ПДК с учетом фона Кларка для черноземных почв (табл. 3).

Таблица 1

Показатели уровня загрязнения почв мышьяком [16]

Уровень загрязнения	1 уровень допустимый	2 уровень низкий	3 уровень средний	4 уровень высокий	5 уровень очень высокий
Содержание As, (мг/кг)	< ПДК	от ПДК до 20	от 20 до 30	от 30 до 50	50 >

Таблица 2

Содержание валовых форм мышьяка в почве реперных участков,
на глубине отбора образца 0–5 см (мг/кг)

Сельскохозяйственные предприятия с реперными участками	Год						
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
СПК «Береговой» уч. № 1	1,10	1,20	1,98	1,45	2,63	4,10	3,40
СПК «Береговой» уч. № 2	1,30	1,19	0,86	3,13	3,32	4,50	3,90
ООО «Спутник»	1,60	1,26	1,63	2,64	3,07	3,80	1,50
ООО СХП «Новые зори	0,70	0,53	0,24	2,36	1,41	3,60	3,30
ООО «Юргинское»	1,20	0,63	1,87	3,42	3,36	2,75	4,20
ООО СХО «Заречье» отд. «Новостройка»	2,00	1,23	3,69	3,53	2,93	3,20	2,40
ООО «Селяна»	1,50	1,37	1,57	3,34	2,82	2,60	2,10
ООО «СПК Зеленовский»	0,70	0,85	2,22	2,11	2,23	2,30	3,10
КФХ Хонина В.В.	1,20	1,62	1,82	2,09	3,38	2,30	3,20
КФХ «Правда»	0,85	1,41	1,43	2,42	3,44	3,05	3,60

Примечание. ПДК мышьяка в валовых формах с учётом фонового числа Кларка для черноземных почв – 7,6 мг/кг (фон Кларка – 5,6 и ПДК – 2,0 мг/кг) [16].

Таблица 3

Содержание валовых форм мышьяка в почве реперных участков в 2014, 2016 гг. (мг/кг)

Сельскохозяйственные предприятия с реперными участками	Тип почвы	Глубина отбора, см					
		0-5	5-20	20-40	40-60	60-80	80-100
СПК «Береговой» уч. № 1	Чернозем оподзоленный	3,01	3,8	5,01	7,66	8,30	8,62
СПК «Береговой» уч. № 2	Черноземно-луговой оподзоленный	3,61	2,76	3,78	4,71	6,91	6,96
ООО «Спутник»	Чернозем выщелоченный	2,28	2,35	3,30	3,15	6,60	6,61
ООО СХП «Новые зори»	Чернозем выщелоченный	2,35	2,57	3,86	6,38	7,35	6,16
ООО «Юргинское»	Чернозем выщелоченный	3,78	3,81	4,85	6,25	5,73	6,60
ООО СХО «Заречье» отд. Новостройка»	Чернозем выщелоченный	2,66	1,91	3,33	5,50	5,49	6,99
ООО «Селяна»	Чернозем выщелоченный	2,46	1,51	2,75	5,57	8,49	9,29
ООО «СПК Зеленовский»	Чернозем выщело- ченный	2,66	2,3	3,50	5,68	8,21	5,79
КФХ Хонина В.В.	Чернозем оподзоленный	3,29	2,21	2,66	5,27	8,34	8,98
КФХ «Правда»	Чернозем выщелоченный	3,52	3,05	5,38	7,67	7,57	7,73

Примечание. ПДК мышьяка в валовых формах с учётом фонового числа Кларка для черноземных почв – 7,6 мг/кг (фон Кларка – 5,6 и ПДК – 2,0 мг/кг) [16].

Раннее наступление весны, избыточное увлажнение во второй половине лета 2015 и 2016 гг. спровоцировали вымывание валовых форм мышьяка и аккумуляцию его в нижних горизонтах почвенного профиля. На глубине отбора почвенной пробы ниже 40 см в некоторых вариантах зарегистрирована концентрация, превышающая ПДК. Она соответствовала второму уровню загрязнения (низкому). Содержание мышьяка на всех реперных участках на глубине 60–100 см изменялось от 5,79 до 9,29 мг/кг. Максимальное содержание элемента отмечено в почве, принадлежащей ООО «Селяна» (Кемеровский район) на глубине 60–80 и 80–100 см – 8,49 и 9,29 мг/кг соответственно.

Заключение

Проведенный почвенный мониторинг валовых форм мышьяка на 10 реперных участках в районах Кемеровской области показал нестабильное накопление элемента по глубине в почвенном профиле, территориально и по годам. Наибольшее загрязнение почв мышьяком происходило на площадках, находящихся вблизи источников загрязнения (промышленные объекты, автодороги и т. д.). Осуществляемый контроль за загрязнением почв токсичными элементами является важным мероприятием охраны почв и рационального их использования.

Список литературы

1. Бабошкина С.В. Мышьяк в компонентах окружающей среды Алтая: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Бабошкина Светлана Вадимовна. – Новосибирск, 2005. – 23 с.
2. Бабошкина С.В. Мышьяк в почвах техногенных ландшафтов Алтая / С.В. Бабошкина, А.В. Пузанов // Ползуновский вестник. Биохимия. – 2005. – № 4. – С. 153–156.
3. Бок Р. Методы разложения в аналитической химии / Р. Бок. – М.: Химия, 1984. – 428 с.
4. Горбов С.Н. Содержание и распределение тяжелых металлов и мышьяка в почвах Ростовской области / С.Н. Горбов, О.С. Безуглова, А.С. Алексикова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4.; URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21428>.
5. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. Введ. 1984-07-01 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Межгосударственный стандарт. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200012800> (дата обращения: 10.03.2017).
6. ГОСТ Р ИСО 11464-2011. Качество почвы. Подготовка проб к физико-химическим анализам. Введ. 2013-01-01 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Межгосударственный стандарт. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200092639> (дата обращения: 10.03.2017).
7. ГОСТ 17.4.3.03-85 Охрана природы. Почвы. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ. Введ. 1987-01-01 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Межгосударственный стандарт. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200005921> (дата обращения 10.03.2017).
8. ГОСТ 17.4.3.06-86 (СТ СЭВ 5301-85). Охрана природы. Почвы. Общие требования к классификации почв по влиянию на них химических загрязняющих веществ. Введ. 1987-07-01 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Межгосударственный стандарт. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200012801> (дата обращения 10.03.2017).
9. ГОСТ 17.4.102-83. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. Введ. 1985-01-01 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Межгосударственный стандарт. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200012797> (дата обращения: 10.03.2017).
10. Зырин Н.Г. Химическое определение мышьяка в почве. / Н.Г. Зырин, Г.В. Мотузова // Агрохимия. – 1979. – С. 141–145.
11. Луковникова Е.Г. Экологические нарушения в российских регионах. Действия властей / Е.Г. Луковникова // «Эко-юрист 2009»: материалы практической части всероссийского студенческого конкурса. – ЭПЦ «Беллона», 2009. – С. 194. – Режим доступа: http://bellona.ru/filearchive/fil_REPORT_ECO_N_5.pdf (дата обращения 10.03.2017).
12. Международный промышленный портал ПВ. РФ. – Режим доступа: <http://promvest.info/ru/regionalnyiy-potentsial/keмеровskaya-oblast-kuzbass/> (дата обращения: 06.03.2017).
13. Методические указания по проведению локального мониторинга на реперных участках. Изд-е 2-е, перераб. и доп. – М.: ЦИНАО, 1996. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200113089>.
14. Окунев Р.В. Мышьяк в почвах Предкамья Республики Татарстан по данным электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии с двухстадийной зондовой автоматизацией: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.13 / Окунев Родион Владимирович. – Казань, 2016. – С. 4, 8–19.
15. Официальная статистика // Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Кемеровской области. 1999–2017 г. – Режим доступа: http://kemerovstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/kemerovstat/ru/statistics/ (дата обращения: 06.03.2017).
16. Письмо Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации № 04-25 и Комитета Российской Федерации по земельным ресурсам и землеустройству № 61-5678 от 27 декабря 1993 года «О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами» – Режим доступа: <http://www.alppp.ru/law/okruzhayuschaja-sreda-i-prirodnye-resursy/obschie-voprosy/6/pismo-minprirody-rf--04-25-roskomzema--61-5678-ot-27-12-1993.html> (дата обращения 06.03.2017).
17. Поляков А.Д. Проблема охраны почвы санитарно-оздоровительной зоны промпредприятий / А.Д. Поляков, Г.Т. Бузмаков, О.Н. Прохоров // Селекция, ветеринарная генетика и экология: тез. докл. I междунар. науч. конф. – Новосибирск, 2011. – С. 40–45.
18. Руководство по санитарно-химическому исследованию почв (нормативные документы) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации – М.: ЦИНАО, 1993. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200119846> (дата обращения: 10.03.2017).
19. Сосницкая Т.Н. Экологическое состояние почв г. Свирска Иркутской области: особенности накопления и детоксикации тяжелых металлов: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / Сосницкая Татьяна Николаевна. – Иркутск, 2014. – 129 с.
20. Яковченко М.А. Влияние породных отвалов на экологическую ситуацию Кемеровской области / М.А. Яковченко, А.А. Косолапова, О.В. Русакова, Д.Н. Аланкина // Социальная экология как основа экологизации общества: сборник материалов молодежного научного семинара, посвященного 65-летию Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева. – Кемерово, 2014. – Режим доступа: http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2014/eko/SE_2014/pages/title-1.htm (дата обращения: 07.03.2017).
21. Ghosh M.M. Adsorption of inorganic arsenic and organoarsenicals on hydrous oxides / M.M. Ghosh, J.R. Yuan // Environ. Progress. – 1987. – V. 6. – P. 150–157.
22. Hutton M. Human Health Concerns of Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic: In Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment / M. Hutton; Eds. T.C. Hutchinson, K.M. Meema. – New York: John Wiley and Sons Ltd, 1987. – P. 53–68.
23. Lorenz N. Response of microbial activity and microbial community composition in soils to long-term arsenic and cadmium exposure / N. Lorenz, T. Hintemann, T. Kramarewa, A. Katayama, T. Yasuta, P. Marschner, E. Kandeler // Soil Biology and Biochemistry. – 2006. – V. 38. – P. 1430–1437.

УДК 581.13

**ОЦЕНКА УГЛЕКИСЛОТНОГО ГАЗООБМЕНА ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ
В ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВАХ ВАЛДАЯ****Юзбеков А.К., Иващенко А.И., Куманяев А.С.***Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва,**e-mail: uak2003@mail.ru*

В статье представлены результаты исследований сезонной динамики интенсивности нетто-фотосинтеза и светового дыхания хвои ели европейской (*Picea abies* L.) старовозрастного древостоя на территории Валдайского национального парка и факторов внешней среды. Установлено наличие прямой линейной зависимости интенсивности фотосинтеза от температуры воздуха и освещенности (коэффициенты корреляции 0,860 и 0,704). Показано, что сезонный максимум нетто-фотосинтеза при температуре, равной 23–25 °С, и уменьшение уровня интенсивности ассимиляции CO₂ с понижением оптимума температуры обусловлены чувствительностью реакции карбоксилирования к действию температуры. На основе разработанной многофакторной модели воздействий метеорологических условий на углекислотный газообмен рассчитаны величины фотосинтетической продуктивности хвои ели в полуденные часы в течение трех сезонов. Полученные результаты свидетельствуют о положительном углекислотном газообмене хвои ели европейской в лесных экосистемах Валдая.

Ключевые слова: ель европейская, нетто-фотосинтез, дыхание, температура, освещенность, углекислотный газообмен

**ASSESSMENT OF CARBON DIOXIDE EXCHANGE IN THE COMMON
SPRUCE IN VALDAY FOREST COMMUNITIES****Yuzbekov A.K., Ivaschenko A.I., Kumanyaev A.S.***Lomonosov Moscow State University, Moscow, e-mail: uak2003@mail.ru*

This work presents the results of research on the seasonal dynamics of net photosynthesis and light-dependent respiration intensity in the needles of the common spruce (*Picea abies* L.) of the old-age forest stand of the Valday National Park in relation to the impact of environmental factors. A direct linear dependence of photosynthesis intensity on air temperature and illumination (with correlation coefficients of 0,860 and 0,704) was established. The seasonal maximum of net photosynthesis attainable at 23–25 °C and the decrease in CO₂ assimilation intensity caused by lowering the temperature optimum level were due to the sensitivity of the carboxylation process to temperature changes. Based on our new multi-factor model of the impact of meteorological conditions on carbon dioxide exchange, the midday values of the photosynthetic productivity of spruce needles were calculated during the course of three consecutive seasons. The results obtained testify to a positive carbon dioxide exchange in spruce needles in the forest ecosystems of Valday.

Keywords: common spruce, net photosynthesis, respiration, temperature, illumination, carbon dioxide exchange

В последние годы изучение углекислотного газообмена древесных пород вызывает повышенный интерес, поскольку леса, по мнению многих исследователей, имеют существенное значение в изменении климата за счет способности поглощения в процессе фотосинтеза углерода и его длительного депонирования [1].

В регуляции газового состава атмосферы значительная роль принадлежит бореальным лесам: в их растительности и верхнем слое почв сосредоточено более 22 % глобальных запасов резервуара углерода суши [2].

На территории Валдайского национального парка, который относится к одной из наиболее крупной ООПТ европейской части России, бореальные леса занимают 86 % всей площади. Особую ценность представляют высокобонитетные сосняки и ельники в возрасте 100 и более лет. Исследования

ряда авторов показали, что старовозрастные леса являются хранилищем большого количества углерода, и углеродный баланс в них, как правило, положительный [3, 4].

В связи с этим изучение углекислотного газообмена ели европейской (*Picea abies*), одной из основных лесообразующих пород старовозрастных лесов Валдая, является актуальным, результаты могут быть использованы для количественной оценки поглощения углерода таежными лесами.

Материалы и методы исследования

Исследования CO₂-газообмена проводили на экспериментальном полигоне, расположенном на территории национального парка «Валдайский» Новгородской области, – пробной площади ПП1 (размером 25 м×40 м), заложенной в старовозрастном (110–120 лет) ельнике, в течение теплых сезонов 2013–2015 гг. Средний диаметр ели

составлял 37 см, средняя высота – 31 м, бонитет – 1, формула древостоя – 9Е 1С.

Сезон наблюдений 2013 г. оказался наиболее теплым из трех сезонов – средняя температура за сезон составила 15,5 °С. Самым теплым месяцем в 2013 г. был июнь – среднесуточная и максимальная температура воздуха равнялись 18,6 и 24,2 °С.

Температурный режим 2014 г. характеризуется жарким июлем – средняя за сутки и максимальная температура воздуха – 19,5 и 25,4 °С, средняя температура за сезон – 15,2 °С.

Для более холодного сезона наблюдений в 2015 г., когда средняя температура за сезон равнялась 14,4 °С, пик показателей температуры пришелся на август – 16,3 и 21,8 °С.

Минимум температуры, в районе 6,5 °С, отмечен в зависимости от сезона в разные месяцы: в 2013 и 2014 г. – в сентябре; в 2015 г. – в мае.

По количеству осадков 2013 г. являлся наиболее дождливым годом, количество осадков в 1,5 раза превысило показатели 2014 и 2015 г. При этом максимум осадков в 2013 и 2015 г. наблюдался в июле, в 2014 г. – в июне и августе.

Облачность в наблюдаемые месяцы каждого сезона варьировала в пределах от 6 до 8 баллов. Средняя величина облачности и фотосинтетически активной радиации (ФАР) за сезон от года к году изменялась незначительно и составила 7,5 баллов и 235 мкЭ/м²·с.

Наблюдения проводили в полуденные часы в течение трех дней последней декады каждого месяца, в трёх повторностях с интервалом 10 мин. Объектами изучения углекислотного газообмена ели служили интактные побеги нижней части крон модельных деревьев.

Интенсивность нетто-фотосинтеза и светового дыхания определяли газометрическим методом, модифицированным применительно к объекту исследования (метод закрытых камер). Комплект оборудования, специально сконструированный для полевых измерений на биологическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова, включал:

1) портативный инфракрасный газоанализатор CO₂, смонтированный на базе инфракрасного сенсора AZ 7752 с разрешающей способностью 1 ppm (AZ Instrument Corp., Тайвань), и помпу E 134-11-120 (Hargraves Technologies Corp., США);

2) камеру из прозрачного пластика объемом 5100 см³ (34×10×15 см), снабженную воздухопроводными полиуретановыми трубками и вентилятором;

3) крышку для создания герметизации камеры;

4) термометр Chektemp1.

Прибор и корпус камеры образовывали замкнутую систему. Измерения выполнялись в последовательности согласно методике авторов [5]. Для получения величин светового дыхания камеру затемняли с помощью чехла из светонепроницаемой ткани. Длительность экспозиции на каждом побеге составляла 30–60 с. Интенсивность фотосинтеза и дыхания хвои ели рассчитывали по уравнению Менделеева – Клапейрона [6].

Дополнительно с исследованиями углекислотного газообмена проводили наблюдения за температурой воздуха окружающей среды и температурой воздуха в камере (значения отличались между собой не более чем на 1–2 °С), определяли общую облачность. Значения фотосинтетически активной радиации рассчитывали как функцию потенциальной суммарной солнечной радиации и облачности [7].

При обработке данных использовали корреляционный и регрессионный методы анализа.

Цель исследования

Цель наших исследований состояла в оценке углекислотного газообмена старовозрастного древостоя ели европейской (*Picea abies* L.) на территории национального парка «Валдайский».

Результаты исследования и их обсуждение

Исследование сезонной динамики интенсивности фотосинтеза хвои ели европейской в зависимости от факторов внешней среды (температуры воздуха и освещенности) проводили как отдельно для каждого года наблюдений, так и по средним значениям за три года. Анализ данных показал наличие прямой зависимости между показателями для всех временных периодов.

Согласно нашим расчетам, в 2013 г. максимальные и минимальные значения сезонной интенсивности нетто-фотосинтеза у ели наблюдались в июне и сентябре при температуре воздуха 25 и 11 °С и составили 9,4 и 3,4 мг CO₂/г сухой массы·ч соответственно.

В 2014 г. максимум интенсивности фотосинтеза – 8,4 мг CO₂/г сухой массы·ч – приходился на наиболее теплый месяц – июль, когда температура воздуха составила 24 °С; сезонный минимум интенсивности, равный 3,6 мг CO₂/г сухой массы·ч, отмечен в сентябре при 10 °С.

В 2015 г. максимальное значение интенсивности нетто-фотосинтеза у ели, равное 9,0 мг $\text{CO}_2/\text{г}$ сухой массы·ч, зарегистрировано в августе при 23 °С. Понижение температуры воздуха в сентябре до 14 °С привело к снижению интенсивности фотосинтеза до 4,1 мг $\text{CO}_2/\text{г}$ сухой массы·ч.

Следует отметить, что более теплая погода в последней декаде сентября в 2015 г. способствовала увеличению интенсивности фотосинтеза по сравнению с предыдущими годами.

Анализ сезонной динамики интенсивности фотосинтеза хвои по средним значениям показателя за три года подтвердил результаты, полученные для каждого года: зависимость фотосинтеза ели от температуры имеет одновершинный характер – в июле отмечается пик, приуроченный к периоду высокой температуры воздуха; минимальное значение показателя зарегистрировано в сентябре (рис. 1, А).

В результате выполненного корреляционного анализа связи интенсивности фотосинтеза хвои ели и температуры воздуха также выявлена прямая линейная зависимость между показателями (коэффициент корреляции равен 0,860) [6].

Таким образом, температура воздуха является одним из основных факторов внешней среды, определяющих процесс фотосинтеза ели европейской в природных условиях.

Другим фактором, оказывающим существенное влияние на процесс фотосинтеза, является освещенность. Согласно полученным результатам, интенсивность фотосинтеза хвои ели находилась в прямой зависимости от ФАР, значения которой варьировали в диапазоне от 300 мкЭ/м²·с в сентябре до 600–640 мкЭ/м²·с в мае-июле каждого сезона.

Аналогичная связь между показателями отмечена для их среднегодовых величин (рис. 1, Б). Повышение интенсивности фотосинтеза в июле при одновременном снижении освещенности, вероятно, обусловлено преобладающим влиянием на процесс фотосинтеза температуры воздуха. Коэффициент корреляции между фотосинтетической активностью хвои и ФАР в сезонной динамике равен 0,704 [6].

Полученные нами данные согласуются с результатами ряда исследователей. Так, линейный характер зависимости скорости дневного поглощения CO_2 от солнечной радиации и температуры для коренных еловых лесов Севера установлен К.С. Бобковой и В.В. Тужилкиной [8]. Согласно Г.Г. Суворовой и др., сезонный максимум фотосинтеза у ели в условиях Предбайкалья наблюдался в июле при температуре 20–25 °С, в сентябре с понижением температуры интенсивность фотосинтеза снижалась [9].

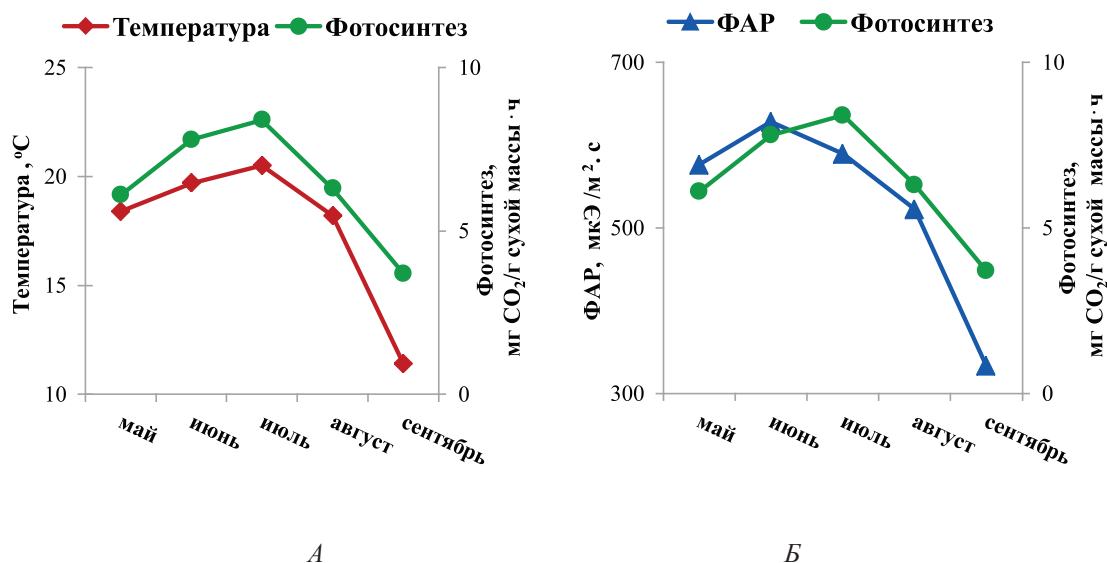


Рис. 1. Сезонная динамика интенсивности фотосинтеза хвои ели и факторов внешней среды: А – температуры воздуха; Б – освещенности (ФАР – фотосинтетически активная радиация) (средняя величина показателей за три года)

Вероятно, что такая зависимость между показателями обусловлена чувствительностью к действию температуры реакции карбоксилирования. Ранее нами было установлено, что диапазон оптимальных температур для проявления максимальной активности ключевых ферментов фотосинтетического углеродного метаболизма (рибулозо-1.5-бисфосфаткарбоксилазы и глицеральдегидфосфатдегидрогеназы) составляет 22–25 °C [10].

Результаты исследования интенсивности CO_2 -ассимиляции модельных деревьев были применены для построения многофакторной модели воздействий метеорологических условий на способность хвои ели поглощать CO_2 (коэффициенты множественной корреляции и детерминации равны 0,906 и 0,820 соответственно) [6], которая послужила основой для расчета ежедневных с апреля по сентябрь каждого сезона значений интенсивности фотосинтеза в полуденные часы и, как следствие, для оценки ежедневной продуктивности фотосинтеза. При этом абсолютно сухую биомассу хвои ели определили с помощью аллометрического уравнения, в зависимости от диаметра и высоты деревьев [11], и приняли равной (с учетом категории состояния древостоя) 10,75 т на 1 га.

Фотосинтетическую продуктивность хвои за месяц рассчитывали как сумму полуденной продуктивности за все дни в каждом месяце (рис. 2).

Анализ сезонной динамики продуктивности хвои показал, что ее максимальные значения отмечены в июне 2013 г., июле 2014 г. и августе 2015 г., что вполне соотносится с сезонным ходом полуденной температуры воздуха, максимум которой при-

ходится на обозначенные месяцы периода исследований. В сентябре для всех сезонов наблюдается уменьшение температуры воздуха и ФАР, что ведет к снижению продуктивности до минимальных значений. В целом продуктивность фотосинтеза за месяц в течение 2013–2015 гг. изменяется в пределах от 1,23 до 2,92 т CO_2 /га.

Сезонную продуктивность хвои определяли как сумму продуктивности фотосинтеза за все месяцы наблюдений. Как показал анализ данных, в зависимости от метеорологических условий сезона существенных колебаний фотосинтетической продуктивности за исследуемый период не отмечается: ее показатель составляет $11,05 \pm 0,26$ т CO_2 /га.

Таким образом, ель европейская, имеющая абсолютно сухую массу хвои 10,75 т на 1 га, синтезирует за сезон 11 т CO_2 /га.

Одной из основных задач при изучении углекислотного газообмена является получение количественной характеристики взаимосвязи между фотосинтезом и дыханием, позволяющей оценить роль ели в углеродном балансе лесных экосистем. Как показали исследования, сезонный ход дыхательного газообмена хвои ели соответствует изменению интенсивности нетто-фотосинтеза: максимальные и минимальные величины дыхания, равные 3,1 и 1,6 мг CO_2 /г сухой массы·ч, отмечены в июле и сентябре соответственно (рис. 3). По нашим расчетам, среднее значение фотосинтеза за сезон по данным за три года, равное 6,5 мг CO_2 /г сухой массы·ч, в 2,7 раза превышает световое дыхание, что свидетельствует о положительном углекислотном газообмене хвои ели европейской нижней части полога старовозрастного древостоя в лесных системах Валдая.

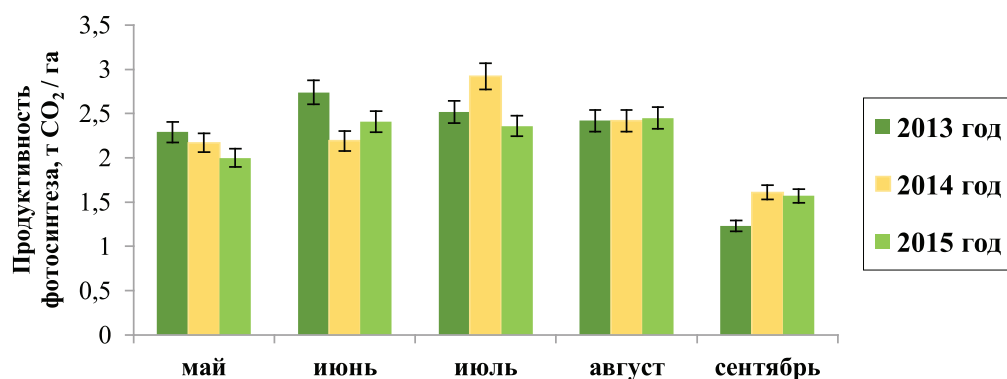


Рис. 2. Продуктивность нетто-фотосинтеза хвои ели европейской

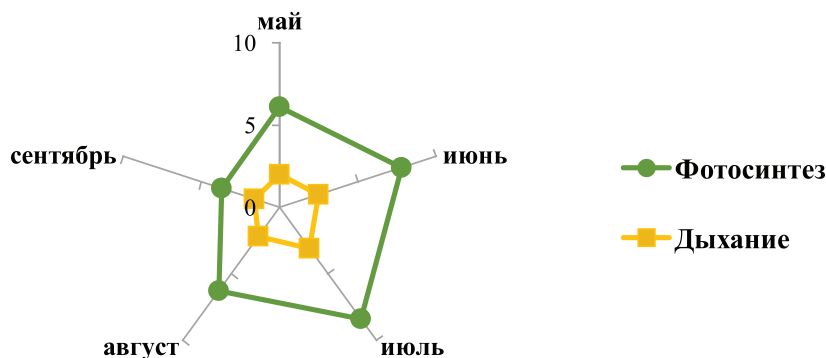


Рис. 3. Сезонные показатели фотосинтеза и дыхания хвои ели европейской (средняя величина показателей за три года, мг CO₂/г сухой массы·ч)

Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что температура воздуха и освещенность являются основными метеорологическими факторами, определяющими процесс фотосинтеза ели европейской старовозрастного древостоя таежных лесов Валдая. Линейный коэффициент корреляции между интенсивностью фотосинтеза и температурой и ФАР, равный 0,860 и 0,704 соответственно, свидетельствует о тесной связи между показателями.

Сезонный максимум нетто-фотосинтеза хвои ели европейской при температуре воздуха 23–25 °С и уменьшение поглощения CO₂ из атмосферы с понижением оптимума температуры обусловлены чувствительностью реакции карбоксилирования к действию температуры.

Старовозрастные ельники Валдая имеют существенное значение, сохраняющееся с их возрастом, в углеродном балансе таежных лесов европейской части России. Подтверждением служат данные о сезонной продуктивности нетто-фотосинтеза ели европейской в наиболее благоприятных условиях освещения и температуры – в полуденные часы, а также положительный углекислотный газообмен в течение теплых сезонов 2013–2015 гг.

Авторы благодарны А.С. Маруничу (Валдайский филиал Государственного гидрологического института) за помощь в организации полевых работ и предоставление современной информации по метеостанции Валдай.

Работа выполнена в рамках темы биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова № 01200117369 «Оценка состояния экосистем по данным экологиче-

ского мониторинга» и при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 16-17-00123).

Список литературы

1. Dixon R.K., Solomon A.M., Brown S., Houghton R.A., Trexler M.C. and Wisniewski J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. // Science. – 1994. – Vol. 263, № 5144. – P. 185–190.
2. Goodale C.L., Apps M.J., Birdsey R.A., Field C.B., Heath L.S., Houghton R.A., Jenkins J.C., Kohlmaier G.H., Kurz W., Liu S., Nabuurs G.-J., Nilsson S., Shvidenko A.Z. Forests carbon sinks in the Northern Hemisphere // Ecol.Appl. – 2002. – Vol. 12, № 3. – P. 891–899.
3. Field C.B., Kaduk J. The carbon balance of an oldgrowth forest: building across approaches // Ecosystems. – 2004. – Vol. 7, № 5. – P. 525–533.
4. Luyssaert S., Schulze E.-D., Bonner A., Knohl A., Hessenmoller D., Law B.E., Ciais P., Grace J. Old-growth forests as global carbon sinks // Nature. – 2008. – Vol. 455, № 7210. – P. 213–215.
5. Yuzbekov A.K., Zamolodchikov D.G., and Ivashchenko A.I. Spruce Fir Photosynthesis in the Forest Ecosystems of the Log Tayezhnyi Test Area // Moscow University Biol. Sci. Bull. – 2014. – Vol. 69, № 4. – P. 169–172.
6. Юзбеков А.К., Замолодчиков Д.Г. Углекислотный газообмен хвои ели европейской в южнотаежном ельнике / А.К. Юзбеков, Д.Г. Замолодчиков // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 16. Биология. – 2017. – Т. 72, № 2. – С. 106–112.
7. Межгодовые изменения ФАР и влажности почвы в теплый сезон могут быть важнее для направления годового углеродного баланса в тундрах, чем колебания температуры / Д.В. Карелин [и др.] // Журнал общей биологии. – 2013. – Т. 74, № 1. – С. 3–22.
8. Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Углеродный цикл в еловых экосистемах // Коренные еловые леса севера: биоразнообразие, структура, функции / Под. ред. К.С. Бобковой, Э.П. Галенко. – СПб.: Наука, 2006. – С. 265–288.
9. Максимальная интенсивность фотосинтеза сосны обыкновенной и ели сибирской в Предбайкалье / Г.Г. Суворова [и др.] // Сиб. экол. журн. – 2005. – № 1. – С. 97–108.
10. Юзбеков А.К., Магомедов И.М. Влияние температуры на синтез карбоксилирующих ферментов в этилированных листьях растений с С3 – и С4 – путем фотосинтеза на свету // Фотосинтез, дыхание и органические кислоты / Под ред. А.А. Землянухина, В.В. Полевого. – Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 1980. – С. 37–42.
11. Аллометрические уравнения для фитомассы по данным деревьев сосны, ели, березы, и осины в Европейской части России / А.И. Уткин [и др.] // Лесоведение. – 1996. – № 6. – С. 36–45.

УДК 551.577.7

ВЛИЯНИЕ КОРОТКОЖИВУЩИХ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ГАММА-ФОНА ВО ВРЕМЯ ОСАДКОВ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ РОССИИ

¹Яковлев Е.Ю., ¹Дружинин С.В., ²Быков В.М.¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Российской академии наук, Архангельск, e-mail: yakovlev_eu@inbox.ru;²Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, e-mail: v.m.bykov@narfu.ru

Атмосферные осадки являются для человека одним из потенциальных источников опасного ионизирующего излучения. Атмосферные аэрозоли являются носителем ряда радиоактивных изотопов земного и космического происхождения, попадают в органы человека и оказывают негативное влияние на здоровье. Считается наиболее опасным среди естественных радионуклидов в атмосфере инертный быстрораспадающийся газ радон, который и составляет основную дозу облучения человека совместно с продуктами его распада. Серия короткоживущих продуктов распада радона, представленная радиоактивными изотопами полония, свинца и висмута, связанная с аэрозолями, играет большую роль в формировании радиационного фона атмосферы. Соответственно, от количества аэрозольных частиц, содержащих эти радиоактивные металлы, будет зависеть состояние радиационного фона атмосферы. Основным путем поступления аэрозолей на поверхность земли – это влажные выпадения в виде дождя и снега и сухие выпадения в виде мелкодисперсных твердых частиц. Поэтому важным является исследование вариаций гамма-фона на поверхности земли во время осадков и определения активности быстро распадающихся радиоактивных изотопов в самих осадках. В настоящей работе, приводятся оригинальные результаты измерения гамма-фона во время выпадения осадков и гамма-активные спектры влажных и сухих аэрозолей на территории Архангельской области. Выявлено, что значения гамма-фона во время выпадения осадков увеличиваются более чем в три раза. Восстановление нормального фона происходит через полтора часа после прекращения выпадений. Установлено, что атмосферные осадки содержат в аэрозолях радиогенные короткоживущие изотопы, являющиеся продуктами распада радона. Полученные результаты находят в согласии с другими исследованиями и известными фактами.

Ключевые слова: гамма-спектрометрия, атмосферные осадки, гамма-доза, свинец-214, висмут-214

IMPACT OF THE SHORT-LIVED RADON DECAY PRODUCTS ON CHANGE OF GAMMA BACKGROUND DURING PRECIPITATION ON THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA

¹Yakovlev E.Yu., ¹Druzhinin S.V., ²Bykov V.M.¹Federal Centre for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk, e-mail: yakovlev_eu@inbox.ru;²Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, e-mail: v.m.bykov@narfu.ru

Precipitation for people is one of the most hazards of ionizing radiation. Tiny particles of air aerosols containing radionuclides adsorbed various origins, can enter into human inhalation and have a negative impact on health. The most dangerous among the natural radionuclides is rapidly decaying inert gas radon, which is a basic human dose. A series of short-lived radon decay products related to aerosols and provided by radioactive isotopes of polonium, lead and bismuth, plays an important role in the formation of the background radiation of the atmosphere. Accordingly, the amount of particulate matter containing these radioactive metals will depend on the state of the background radiation of the atmosphere. The main route of exposure of aerosols on the surface of the earth – it precipitates as rain or snow, so important is the study of the variations of gamma background on the surface during rainfall. In this regard, relevant is the study of what influence the change isotopes gamma dose during precipitation. In the present study, we have carried out the study of changes the gamma background during precipitation. It was revealed that the value of gamma background during precipitation increasing more than three times. Restoration of the background occurs normalno a half hours after the cessation of precipitation. It was found that the precipitation in the form of aerosols contain radiogenic short-lived isotopes, which are products of decay of radon. Collection of data on the surface of the earth isotopes of precipitation leads to a short-term increase in the gamma-ray background. The results are in agreement with other studies and known facts.

Keywords: gamma-spectrometry, precipitation, gamma dose, lead-214, bismuth-214

Природные источники ионизирующего излучения создают около 70% суммарной дозы облучения, получаемой человеком от всех источников радиации. Наибольший вклад в дозу, создаваемую естественными радионуклидами, вносит радиоактивный газ радон и дочерние продукты его распада, в том числе и короткоживущие. В многочисленных исследованиях последних десятилетий под-

робно описываются пути поступления радона и механизмы его воздействия на организм человека. Однако информации об активности продуктов распада радона, в особенности короткоживущих, концентрации которых на поверхности земли после выпадения атмосферных осадков могут оказаться значительными, в настоящее время недостаточно, что определяет актуальность настоящего исследования.

Цепочка распадов короткоживущих изотопов в ряду родоначальника семейства – природно-го урана-238, которые могут влиять на изменение гамма-фона, выглядит следующим образом:

Радионуклид	$^{222}\text{Rn} \rightarrow$	$^{218}\text{Po} \rightarrow$	$^{214}\text{Pb} \rightarrow$	^{214}Bi
Период полураспада	3,82 дня	3,11 мин	26,8 мин	19,8 мин
Тип распада	α	α	β, γ	β, γ

В этой цепочке лишь ^{222}Rn находится в газообразном состоянии, остальные радионуклиды связаны с аэрозольными частицами. Наибольший интерес по ряду причин представляют ^{214}Pb (RaB) и ^{214}Bi (RaC): это γ -излучающие изотопы и в основном они формируют поле гамма-излучения атмосферы [1]. Поведение этих изотопов носит региональный характер, т.е. метеопараметры и другие факторы могут оказывать существенное влияние на их абсолютные концентрации, отношение концентраций, взаимодействие с аэрозольными частицами и т.д. [1]. Вероятно, изменение активности данных короткоживущих изотопов в зависимости от метеоусловий будет определять вариации гамма-поля в приземном слое атмосферы, которые могут быть существенными. Однако на это явление существуют различные взгляды.

Зависимость возрастания гамма-фона от метеоусловий обнаружена в низких широтах тропической зоны [2, 3]. Увеличение фона во время грозы объясняется сильными электрическими полями между грозовыми облаками, доускоряющими заряженные частицы вторичных космических лучей [3].

Мониторинговые наблюдения фона гамма-излучения в приземном слое атмосферы Арктических областей также обнаруживают, что почти всякий сильный дождь или снегопад вызывает возрастание гамма-фона [4–6]. Причиной возрастания гамма-фона в приземном слое атмосферы данных областей во время осадков предполагается тормозное рентгеновское излучение энергичных электронов, ускоренных электрическими полями внутри дождевых (снеговых) облаков [6]. Этот вывод был сделан на основе того, что авторами работ [7] в гамма-фоне в период возражений не обнаружено характерных линий каких-либо радионуклидов. В дождевой воде радионуклиды также не были обнаружены [7]. Согласно работам [4–7] наблюдаемые возрастания гамма-фона во время осадков являются следствием изменения условий взаимодействия космического излучения с атмосферой и не связаны с какими-либо антропогенными либо природными радионуклидами. Вероятно, определенная связь возрастания

гамма-фона во время осадков с воздействием космического излучения существует, что нельзя отрицать, однако с утверждениями об отсутствии в осадках радионуклидов, которые могут влиять на кратковременное увеличение общего гамма-фона, нельзя согласиться. Многолетние исследования аэрозолей воздуха и атмосферных осадков демонстрируют постоянное присутствие космогенных (^7Be) и радиогенных радионуклидов (^{210}Po , ^{210}Pb , ^{214}Pb , ^{214}Bi) в нижних слоях атмосферы, которые адсорбируются на аэрозолях субмикронного размера, формируя естественный радиационный фон атмосферы [8, 9]. В частности, изучены механизмы поступления ^7Be (период полураспада 53,29 сут) на земную поверхность [9]. В основном ^7Be попадает на поверхность земли в виде «сухих» (с аэрозолями воздуха) и «мокрых» (с атмосферными осадками) выпадений [10–15]. Наблюдаемые изменения гамма-фона во время осадков, отмеченные авторами [7], вероятно, также связаны с возрастанием интенсивности поступления аэрозолей на поверхность земли, содержащих короткоживущие радиогенные изотопы, поскольку отмеченные возрастания гамма-фона носят непродолжительный характер, совпадающий со временем выпадения осадков. Однако обнаружить в осадках присутствие этих радионуклидов достаточно сложно, поскольку концентрации их ультранизкие, а за время пробоподготовки, направленной на концентрирование изотопов из больших объемов, короткоживущие изотопы способны значительно распасться.

Указанные предпосылки определили необходимость проведения серии натурных наблюдений связанных с изучением вариаций естественного гамма-фона при выпадении осадков и установления вклада короткоживущих радионуклидов уранового ряда, содержащихся в виде аэрозолей в нижних слоях атмосферы, в увеличение гамма-дозы. Для выполнения указанной цели было необходимо изучить изменение интенсивности гамма-излучения во время выпадения осадков и определить энергетический диапазон, в котором происходят вариации; изучить радиоактивность аэрозолей воздуха и атмосфер-

ных осадков для установления присутствия в них короткоживущих продуктов распада радона. Указанные задачи решены с использованием комплекса современной радиометрической аппаратуры на базе лаборатории экологической радиологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Российской академии наук.

Материалы и методы исследования

Подход при определении концентраций короткоживущих продуктов распада радона (^{214}Pb и ^{214}Bi) в приземной атмосфере заключался в фильтрации воздуха через фильтр, подготовке фильтра с собранными аэрозолями к измерению, измерение отобранной пробы на гамма-спектрометре. Воздухо-фильтрационная установка включала в себя электровентилятор и фильтродержатель, на который помещается тонковолокнистый фильтр ФПП-15. Накопление аэрозолей воздуха осуществлялось в течение 20 суток.

Отбор проб дождя и снега осуществлялся непосредственно в момент выпадения осадков в объеме 1 л. Осадки без предварительной пробоподготовки сразу же отправлялись на измерения. Для измерений активности аэрозолей, собранных на фильтре, а также проб дождевых и снеговых осадков использовали стационарный программно-аппаратурный комплекс «Прогресс-гамма» (Россия). Комплекс включает в себя сцинтилляционный блок детектирования гамма-излучения на основе кристалла йодистого натрия NaI (Tl), блок питания и усиления импульсов, плата аналогово-цифрового преобразователя, свинцовая защита блока детектирования от фонового излучения. Активность ^{214}Pb в пробах определялась по линиям 609,3, 1120 и 1765 кэВ.

Регистрация естественного гамма-фона осуществлялась в полевых условиях с использованием высокоточного мобильного сцинтилляционного гамма-спектрометрического комплекса RS-701 (Канада). Комплекс RS-701 имеет усовершенствованный цифровой спектрометр (ADS) с высоким разрешением (1024 канала), позволяющий в режиме реального времени выполнять измерения общей радиоактивности местности в нГр/ч, а также раздельного измерения концентрации суммарного урана (ppm), тория (ppm) и калия (мас. %). Обработка гамма-спектров осуществлялась в программе RAD Assist. Запись гамма-спектров велась в одной точке на уровне земли в течение

124 мин с интервалом 1 сек, в результате чего было получено более 7400 значений параметров естественного гамма-поля. Указанный временной интервал охватывал время до дождя, период интенсивного ливня и время после прекращения выпадений до полного восстановления нормального гамма-фона.

Результаты исследования и их обсуждение

В период проведения полевых радиометрических исследований нами неоднократно отмечалось, что во время интенсивного выпадения атмосферных осадков в несколько раз увеличивается значение определяемого суммарного гамма-излучения и соответственно гамма-дозы. Зная об этом явлении, в очередной раз при выпадении атмосферных осадков в виде дождя (летний ливень с грозой 16.08.2016; N 65.335914°, E 41.034781°) были выполнены стационарные измерения с записью данных. Результаты записи гамма-спектров во время ливня представлены в виде графиков на рис. 1.

Естественный гамма-фон в точке наблюдений составляет около 0,03 мкЗв/ч. График изменения интенсивности гамма-излучения (рис. 1, А) демонстрирует резкое увеличение значений, приуроченных ко времени выпадения дождя (~34 мин). Эквивалентная доза гамма-излучения возрастает до более 0,09 мкЗв/ч. Затем наблюдается постепенное снижение значений в течение полутора часов после выпадения осадков до первоначального уровня. Расшифровка полученных при измерении гамма-спектров данных показала, что увеличение значений гамма-излучения происходит за счет урана, определяемого прибором по каналам и энергиям радионуклидов, входящих в его радиоактивный ряд (в основном – радий и продукты его распада). Это отчетливо видно из сравнения графиков эквивалентной дозы (рис. 1, А) и концентрации урана (рис. 1, Б). Концентрация урана возрастает более чем в четыре раза по сравнению с истинными значениями в точке измерений. В каналах, соответствующих торию и калию (рис. 1, В, Г) изменений не наблюдается. В определяемый диапазон энергий измерения урана входят энергии короткоживущих гамма-излучающих продуктов распада радона – ^{214}Pb и ^{214}Bi . Резкое повышение активности этих изотопов, вероятно, приводит к значительному завышению концентрации урана и соответственно эквивалентной дозы гамма-излучения. Это

обстоятельство необходимо учитывать при проведении площадных гамма-спектрометрических исследований во время дождя, поскольку влияние короткоживущих изотопов будет искажать реальную картину гамма-поля исследуемой территории.

Наиболее вероятным механизмом поступления изотопов, приводящих к изменению гамма-спектра в канале урана, является вымывание короткоживущих продуктов распада радона (и других радионуклидов совместно с аэрозолями воздуха) дождевыми осадками из атмосферы. В свою очередь выпадение данных изотопов на поверхность земли вместе с осадками приводит к их концентрированию. Радионуклиды совместно с аэрозолями воздуха в атмосфере находились в рассеянном состоянии, при выпадении атмосферные осадки вымыли аэрозоли из атмосферы и сконцентрировали их на поверхности земли. Вероятнее всего, с этим и связано кратковременное увеличение интенсивности гамма-излучения. Поскольку предполагаемые изотопы имеют маленький период полураспада, то через 1,5 часа после прекращения дождя гамма-спектр в канале урана выравнивается до фоновых значений.

В результате исследований активности радионуклидов в аэрозолях воздуха авторами было обнаружено, что при измерении

фильтрующего материала сразу после отбора проб наблюдается спектр с многочисленными пиками, а при следующем измерении через полтора часа спектр пробы сглаживается, остаются незначительные следы пиков в диапазоне тех же энергий, а также пик более долгоживущего радионуклида бериллия-7. Измеренные гамма-спектры проб аэрозолей воздуха представлены на рис. 2.

Как правило, при измерении проб атмосферных осадков необходимо проводить длительную пробоподготовку, заключающуюся в выпаривании больших объемов осадков и концентрировании радионуклидов в объеме измерительной емкости. Нами для определения короткоживущих продуктов распада в атмосферных осадках было решено провести измерение непосредственно после их отбора без дополнительной подготовки проб.

При таком измерении спектры проб содержали пики короткоживущих продуктов распада радона – гамма-активных ^{214}Pb (энергии 241,9, 295,2 и 351,9 кэВ) и ^{214}Bi (энергии 609,3, 1120 и 1765 кэВ). При последующих измерениях проб через час значение активности изотопов падало, спектр выравнивался. Измеренные спектры проб атмосферных осадков, представленных дождевой и талой снеговой водами, показаны на рис. 3 и рис. 4.

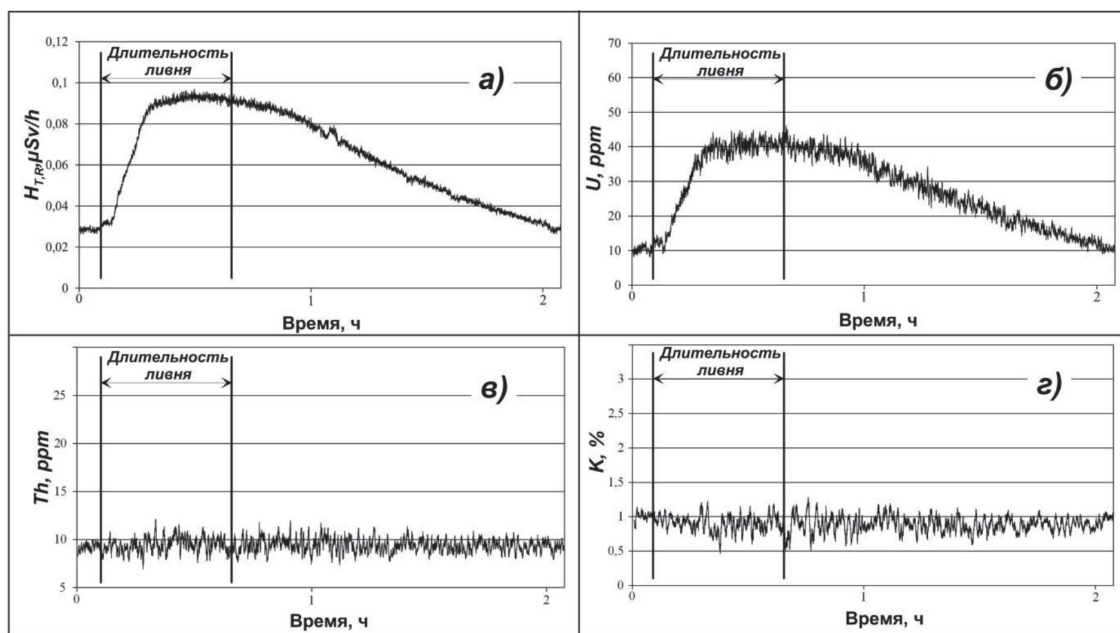


Рис. 1. Графики изменения гамма-спектрометрических параметров во время ливня в точке наблюдений $N 65.335914^\circ$, $E 41.034781^\circ$: а – эквивалентная доза гамма-излучения (мкЗв/ч); б – концентрация урана (ppm); в – концентрация тория (ppm); г – содержание калия ($\text{мас. \%}$)

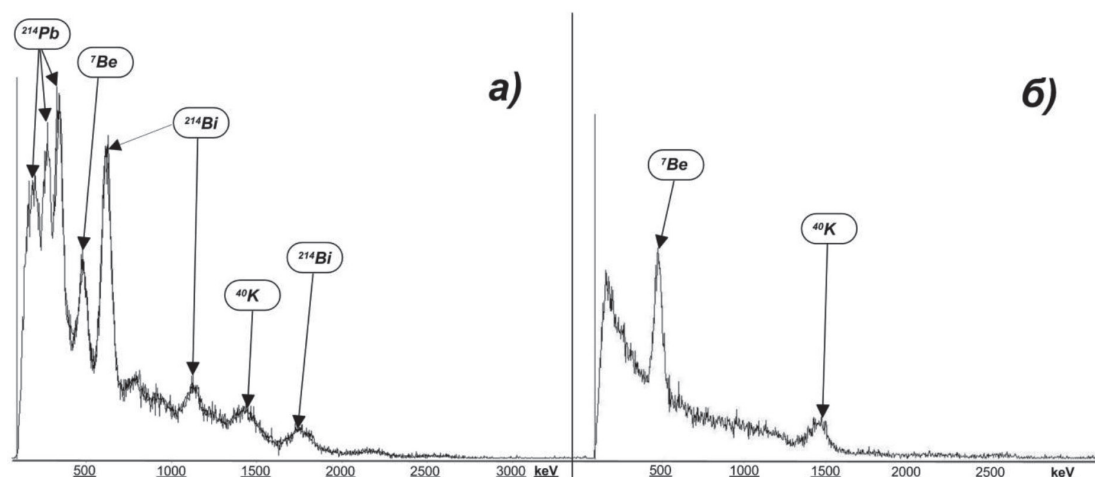


Рис. 2. Спектры проб «сухих» аэрозолей воздуха: а – спектр пробы «сухих» аэрозолей воздуха при измерении непосредственно после отбора; б – спектр пробы «сухих» аэрозолей воздуха при измерении через 1,5 часа после отбора (02.09 – 21.09.2016; N 64.550519, E 40.515314)

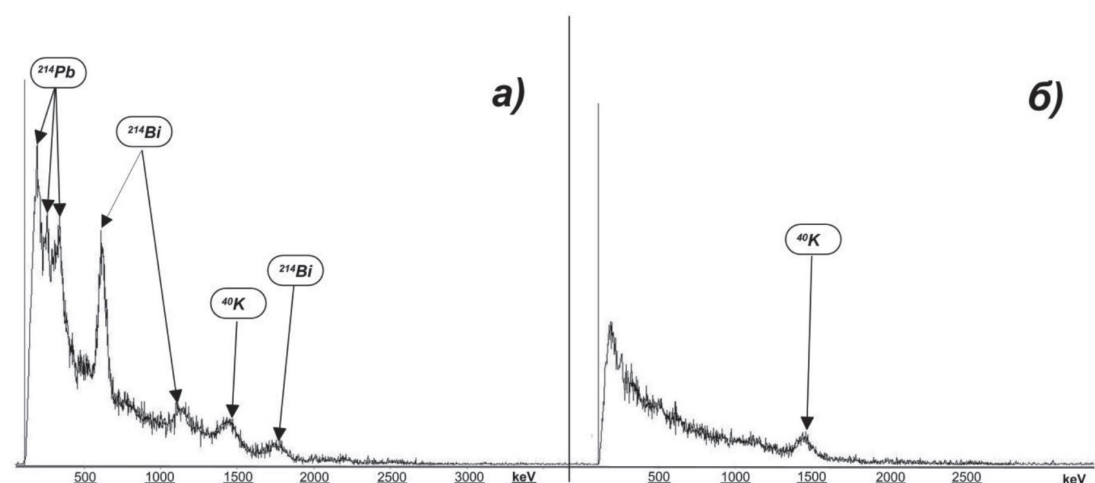


Рис. 3. Гамма-спектры проб дождевой воды: а – спектр пробы дождевой воды при измерении непосредственно после отбора; б – спектр пробы дождевой воды при измерении через 1 час после отбора (12.09.2016; N 64.550519, E 40.515314)

Однако количественно оценить содержание в осадках ^{214}Pb и ^{214}Bi оказалось проблематично из-за малого объема проб, но качественно эта задача решается путем расшифровки радионуклидов в общем энергетическом диапазоне получаемого гамма-спектра. Изотопы ^{214}Pb были идентифицированы по энергиям 241,9, 295,2 и 351,9 кэВ, а изотопы ^{214}Bi – по энергиям 609,3, 1120 и 1765 кэВ.

Гамма-спектры, полученные нами при измерении активности радионуклидов

в пробах атмосферных аэрозолей, дождевой воды и талой снеговой воды, идентичны, что свидетельствует о том, что радионуклиды, определяемые в «сухих» аэрозолях атмосферного воздуха и атмосферных осадков, одни и те же и представляют собой изотопы ^{214}Pb и ^{214}Bi .

Выводы

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы, касающиеся существа работы.

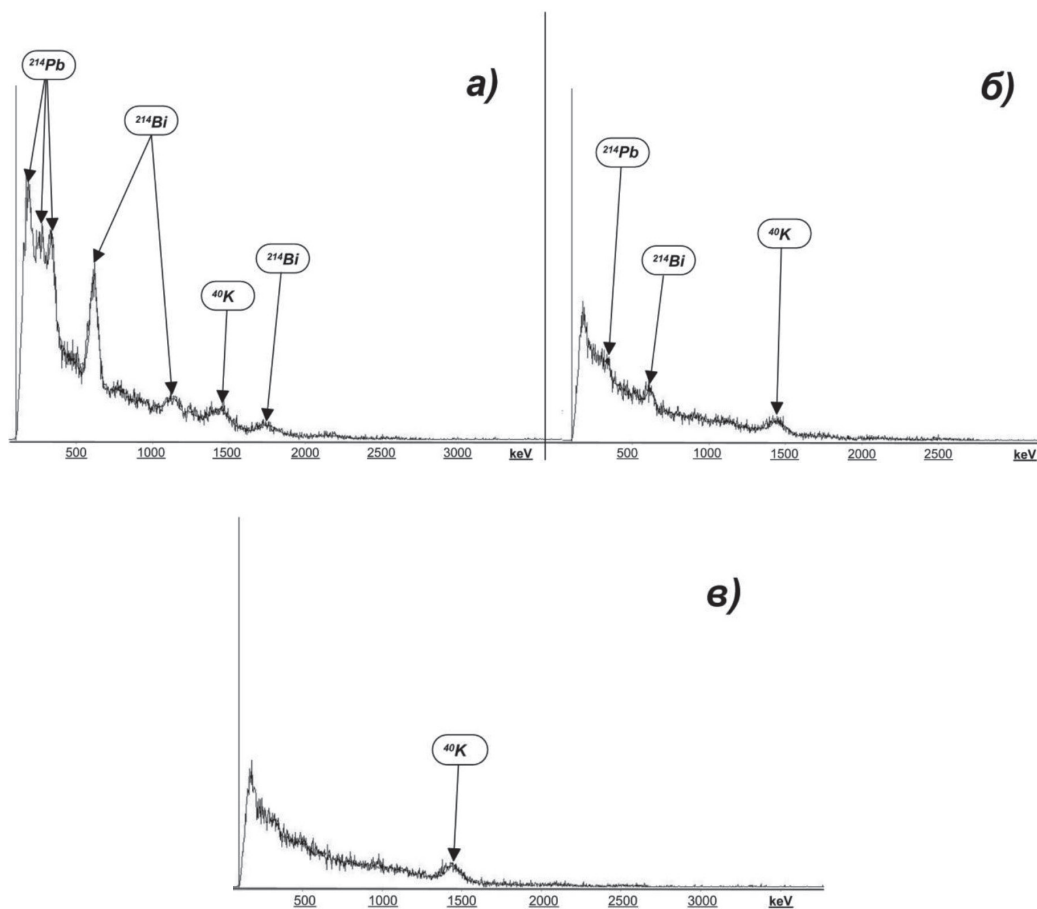


Рис. 4. Гамма-спектры проб талой снеговой воды: а – спектр пробы талой снеговой воды при измерении непосредственно после отбора; б – спектр пробы талой снеговой воды при измерении через 1 час после отбора; в – спектр пробы талой снеговой воды при измерении через 2 часа после отбора (26.10.2016; N 64.550519, E 40.515314)

Интенсивное выпадение осадков приводит к увеличению гамма-фона на поверхности земли более чем в три раза. Увеличение гамма-фона происходит не во всем измеряемом энергетическом диапазоне, а лишь в канале определения урана, который формируется как сумма входящих в его цепочку распада изотопов. Восстановление нормального гамма-фона происходит примерно через полтора часа после прекращения выпадений, что свидетельствует о том, что основной вклад в изменение гамма-фона вносят короткоживущие продукты распада радона.

Радиогенные короткоживущие изотопы содержатся в «сухих» и «жидких» атмосферных осадках в аэрозолях. Основным механизмом поступления радионуклидов на поверхность земли является вымывание атмосферными осадками аэрозольных

частиц, содержащих радиоактивные элементы. Установлено, что локальное кратковременное увеличение гамма-дозы при интенсивном выпадении атмосферных осадков вызывают изотопы ^{214}Pb и ^{214}Bi с периодами полураспада 26,8 и 19,8 мин соответственно.

Работа выполнена в рамках ФНИР «Радиоизотопные исследования природных и техногенных процессов трансформации окружающей среды Европейского Севера» № АААА-А16-116052710106-8.

Список литературы

1. Особенности изменчивости гидрологических и биооптических характеристик на поверхности Черного моря по данным спутниковых и контактных измерений / Ю.В. Артамонов, В.Н. Белокопытов, Е.А. Скрипалева [и др.] / под ред. В.Н. Еремеева, С.К. Коновалова. – Севастополь: Морской гидрофизический институт НАН Украины. – 2012. – 357 с.
2. Mendonca de R.R.S., Raulin J.P., Bertoni F.C.P., Echer E., Makhmutov V.S., Fernandez G. Long-term and

transient time variation of cosmic ray fluxes detected in Argentina by CARPET cosmic ray detector // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. – 2011. – Vol. 73. – P. 1410–1416.

3. Лидванский А.С. Вариации интенсивности мюонов космических лучей вызванные грозовыми электрическими полями // А.С. Лидванский, В.Б. Петков, Н.С. Хаердинов // *Известия РАН, серия физическая*. – 2004. – № 11. – С. 1605–1607.

4. Вариации естественного рентгеновского фона в полярной атмосфере / Ю.В. Балабин [и др.] // *Геомагнетизм и аэрономия*. – 2014. – № 3. – С. 376–386.

5. Germanenko A.V., Balabin Yu.V., Gvozdevsky B.B., Vashenyuk E.V., Melnik N.A. Study of radiation related with atmospheric precipitations. Physics of Auroral phenomena, 34th annual seminar: материалы международной науч. конференции. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2011. – С. 185–188.

6. Балабин Ю.В., Германенко А.В., Гвоздевский Б.Б., Ващенко Э.В. Особенности вариаций гамма-излучения во время осадков // *Physics of Auroral phenomena, 35th annual seminar: материалы международной науч. Конференции*. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2011. – С. 143–146.

7. Вариации естественного гамма-фона во время выпадения атмосферных осадков / А.В. Германенко [и др.] // *Вестник Кольского научного центра РАН*. – 2010. – № 3. – С. 104–109.

8. Дружинин С.В. Изотопы бериллий-7, полоний-210, свинец-210 в атмосферных осадках и аэрозолях г. Архан-

гельска / С.В. Дружинин, Г.П. Киселев // *Вестник Поморского университета. Серия «Естественные науки»*. – 2010. – № 4. – С. 15–19.

9. Киселев Г.П. Особенности распределения бериллия-7 в атмосферных выпадениях и растениях Европейского Севера России / Г.П. Киселев, С.В. Дружинин // *Проблемы биогеохимии и геохимической экологии*. – 2013. – № 2. – С. 46–51.

10. Сапожников Ю.А. Радиоактивность окружающей среды / Ю.А. Сапожников. – М.: Теория и практика, 2006. – 286 с.

11. Баженов В.А. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества / В.А. Баженов, Л.А. Булдаков, И.Я. Василенко. – Л.: Химия, 1990. – 464 с.

12. Ферронский В.А. Космогенные изотопы гидросферы / В.И. Ферронский, В.В. Поляков, В.В. Романов. – М.: Наука, 1984. – 268 с.

13. Koch D., Mann M. Spatiotemporal variability of ^7Be surface concentrations // *Tellus*. – 1996. – № 48. – P. 387–396.

14. Yamamoto M., Sakaguchi A., Sasaki K., Hirose K., Igarashi Y., Ki C.K. Seasonal and spatial variation of atmospheric ^{210}Pb and ^7Be deposition: features of the Japan Sea side of Japan // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2006. – vol. 86. – P. 110–131.

15. Содержание космогенного Ве-7 в приземном слое воздуха умеренных широт / Е.А. Бураева [и др.] // *Атомная энергия*. – 2007. – № 6. – С. 370–374.