
УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

№ 10 2015

ISSN 1681-7494

**Импакт фактор
(пятилетний)
РИНЦ – 1,358**

Журнал основан в 2001 г.

Электронная версия размещается на сайте www.rae.ru

Учредитель – МОО «Академия
Естествознания»

Почтовый адрес –
105037, г. Москва, а/я 47,
АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ,
редакция журнала
«УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ»

Издательство и редакция:
Издательский Дом
«Академия Естествознания»

Ответственный секретарь редакции –
Бизенкова Мария Николаевна –
+7 (499) 705-72-30

E-mail: edu@rae.ru

Подписано в печать – 18.11.2015

Формат 60x90 1/8
Типография
ИД «Академия Естествознания»,
г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка
Митронова Л.М.
Корректор
Кошелева Ж.В.

Способ печати – оперативный.
Усл.п.л. 13,88
Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/10-2015

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

Химические науки

д.х.н., проф. Алоев Владимир Закиевич
д.х.н., проф. Великородов Анатолий Валериевич
д.х.н., проф. Дресвянников Александр Федорович
д.х.н., проф. Душкин Александр Валерьевич
д.х.н., проф. Ивашкевич Александр Николаевич
д.х.н., проф. Микитаев Абдулах Касбулатович
д.х.н., проф. Нилов Александр Петрович
д.х.н., проф. Танганов Борис Бадмаевич

Науки о Земле

д.г.-м.н., проф. Абилхасимов Хаирлы Бабашевич
д.г.-м.н., проф. Алексеев Сергей Владимирович
д.г.-м.н., проф. Бондарев Владимир Иванович
д.г.-м.н., проф. Гавришин Анатолий Иванович
д.т.н., проф. Ерофеев Владимир Иванович

д.г.-м.н., проф. Костицын Владимир Ильич
д.г.-м.н., проф. Лебедев Владимир Ильич
д.г.-м.н., проф. Мельников Александр Иванович

Сельскохозяйственные науки

д.с.-х.н., проф. Байрамбеков Шамиль Байрамбекович
д.с.-х.н., проф. Берсон Гарри Залманович
д.с.-х.н., проф. Зволинский Вячеслав Петрович
д.с.-х.н., проф. Коцарева Надежда Викторовна
д.с.-х.н., проф. Ланцева Надежда Николаевна
д.с.-х.н., проф. Морозова Нина Ивановна
д.с.-х.н., проф. Тихановский Анатолий Николаевич
д.с.-х.н., проф. Улимбашев Мурат Борисович
д.с.-х.н., проф. Ухтверов Андрей Михайлович
д.с.-х.н., проф. Хазиахметов Фаил Сабирянович
д.с.-х.н., проф. Шамшиев Бакытбек Нуркамбарович

Журнал «УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия.

Свидетельство – ПИ №77-11311.

Все публикации рецензируются. Доступ к журналу бесплатен.

Журнал представлен в Научной электронной библиотеке (НЭБ) – головном исполнителе проекта по созданию Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Импакт-фактор РИНЦ (пятилетний) = 1,109 (по данным на 18.02.2015).

Импакт-фактор РИНЦ 2014 (двухлетний) = 1,275 (по данным на 18.02.2015).

Импакт-фактор РИНЦ 2013 (двухлетний) = 1,598.

Индекс Хирша (десятилетний) = 20 (по данным РИНЦ на 24.02.2015) (79 место из 7647 представленных в РИНЦ журналов).

Число цитирований журнала за год (по данным РИНЦ на 24.02.2015) = 1685 (85 место из 7647 представленных в РИНЦ журналов).

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

СОДЕРЖАНИЕ

Химические науки (02.00.00)

МЕТОД АЗОТИРОВАНИЯ ТОРФА И СРЕДСТВА ЕГО ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ <i>Белозеров В.В., Олейников С.Н., Белозеров Вл.В.</i>	7
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАКУУМНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТА ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ <i>Гасанов С.К., Ястребинский Р.Н., Павленко В.И.</i>	11
ЭВОЛЮЦИЯ НАНОЛИСТОВЫХ СТРУКТУР ПСЕВДОБЕМИТА ПРИ ОКИСЛЕНИИ ВОДОЙ НАНОЧАСТИЦ AL И AL/ALN <i>Горбиков И.А., Казанцев С.О.</i>	15
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕТЕРОПЕРЕХОДОВ CuInGaSe ₂ -CDZN(SN)S, ОСАЖДЕННЫХ ИЗ РАСТВОРА <i>Джафаров М.А., Насиров Е.Ф., Джахангирова С.А.</i>	19
ОСОБЕННОСТИ ОКИСЛЕНИЯ ВОДОЙ НАНОЧАСТИЦ АЛЮМИНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ <i>Казанцев С.О., Горбиков И.А.</i>	27
ПАРАМЕТРЫ АКТИВАЦИИ ВЯЗКОГО ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ, ТЯЖЕЛОЙ ВОДЫ И СВЕРХТЯЖЕЛОЙ ВОДЫ <i>Масимов Э.А., Пашаев Б.Г., Гасанов Г.Ш., Гасанов Н.Г.</i>	32
ПОГЛОЩАЮЩИЕ НЕЙТРОНЫ НАНОТРУБЧАТЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛИМЕРОВ <i>Матюхин П.В., Ястребинская А.В., Черкашина Н.И., Коба В.В.</i>	36
РАЗРАБОТКА РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНОГО КОМПОЗИТА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ГАММА- ИЗЛУЧЕНИЯ <i>Соколенко И.В., Ястребинский Р.Н., Матюхин П.В., Иваницкий Д.А.</i>	40
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА НА ОСНОВЕ МАЛОПЛАСТИЧНОЙ ГЛИНЫ С ДОБАВЛЕНИЕМ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ШЛАМА <i>Сухарникова М.А., Пикалов Е.С.</i>	44
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИАЛКАНИМИДОВ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ <i>Черкашина Н.И., Павленко В.И., Соколенко И.В., Жаворонкова М.К.</i>	48
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОТРУБЧАТЫХ СТРУКТУР ДЛЯ СИНТЕЗА РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ <i>Ястребинский Р.Н., Павленко В.И., Демченко О.В.</i>	52
<i>Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)</i>	
РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЯСНОЙ ТОНКОРУННОЙ ПОРОДЫ ЕТТИ МЕРИНОС НА ЮЖНОКАЗАХСКИХ МЕРИНОСАХ <i>Ажиметов Н.Н., Жумадиллаев Н.К., Ескара М.А., Косауова А.К., Абдраманов К.К.</i>	56
РОЛЬ ОТДЕЛЬНЫХ АГРОПРИЕМОВ В ФОРМИРОВАНИИ УРОЖАЯ FAGOPYRUM ESCULENTUM MOENCH. В ЛЕСОСТЕПИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ <i>Важов В.М., Козил В.Н., Важов С.В.</i>	60
<i>Науки о Земле (25.00.00)</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ВОСПИТАНИИ СТУДЕНТОВ <i>Аничкина Н.В.</i>	65
ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ РУД С ПРИМЕНЕНИЕМ СОРБИРУЮЩИХ РЕДОКСПОЛИМЕРОВ <i>Ахмеджанов Т.К., Нуранбаева Б.М.</i>	70
ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОСТАВА РУДЫ И ПОРОД ДЛЯ КОРРЕКТИРОВКИ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕНСИВНОГО КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ <i>Битимбаев М.Ж., Орынгожин Е.С., Джумабаев Е.И.</i>	79

СОРБЦИЯ ИОНОВ ЦИНКА ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПРИРОДНЫМ КЛИНОПТИЛОЛИТОВЫМ ТУФОМ <i>Еремин О.В., Эпова Е.С., Русаль О.С., Филенко Р.А., Беломестнова В.А., Федоренко Е.В.</i>	86
ТЕХНОЛОГИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ЛИКВИДАЦИИ РОЗЛИВОВ НЕФТИ НА МОРЕ, ОКЕАНЕ <i>Захматов В.Д., Щербак Н.В., Гуменюк В.И.</i>	92
РЕАКЦИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МАЛЫХ БОРЕАЛЬНЫХ ОЗЕР НА РАЗЛИЧНЫЕ СЦЕНАРИИ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ <i>Здоровеннова Г.Э., Голосов С.Д., Зверев И.С., Здоровеннов Р.Э., Тержеев А.Ю.</i>	100
ОСНОВЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В РАЗВИТИИ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ТУРКМЕНИСТАНЕ <i>Пенджиев А.М., Пенжиева Д.А.</i>	104

CONTENTS
Chemical sciences (02.00.00)

METHOD OF NITRIDING OF PEAT AND MEANS OF ITS FIRE PROTECTION <i>Belozеров V.V., Oleynikov S.N., Belozеров V.Vl.</i>	7
USING VACUUM ULTRAVIOLET TO REDUCE ROUGHNESS SURFACE OF THE POLYMER COMPOSITES <i>Gasanov S.K., Yastrebinsky R.N., Pavlenko V.I.</i>	11
EVOLUTION OF NANOSHEET STRUCTURES OF PSEUDOBOEHMITE IN THE OXIDATION OF WATER AL AND AL/ALN NANOPARTICLES <i>Gorbikov I.A., Kazantsev S.O.</i>	15
PHOTOELECTRIC PROPERTIES OF CUINGASE ₂ -CDZN(SN)S HETEROJUNCTIONS, PRECIPITATION FROM SOLUTION <i>Jafarov M.A., Nasirov E.F., Jahangirova S.A.</i>	19
PECULIARITY OF THE OXIDATION BY WATER ALUMINUM NANOPARTICLES IN DIFFERENT CONDITIONS <i>Kazantsev S.O., Gorbikov I.A.</i>	27
ACTIVATION PARAMETERS OF VISCOUS FLOW OF WATER, HEAVY WATER AND EXTRA HEAVY TRITIATED WATER <i>Masimov E.A., Pashayev B.G., Gasanov G.S., Gasanov N.G.</i>	32
THE NANOTUBULAR FILLERS OF HIGH-TEMPERATURE POLYMERS ABSORBING NEUTRONS <i>Matiukhin P.V., Yastrebinskaya A.V., Cherkashina N.I., Koba V.V.</i>	36
DEVELOPMENT OF RADIATION PROTECTION COMPOSITE PROTECTION GAMMA RADIATION <i>Sokolenko I.V., Yastrebinsky R.N., Matyuhin P.V., Ivanitskiy D.A.</i>	40
RESEARCH ON THE POSSIBILITY OF PRODUCTION OF CERAMIC BRICKS ON THE BASIS OF LOW PLASTICITY CLAY WITH THE ADDITION OF GALVANIC SLUDGE <i>Sukharnikova M.A., Pikalov E.S.</i>	44
COMPOSITE MATERIALS ON THE BASIS POLIALKANIMIDOV FOR BIOLOGICAL PROTECTION OF THE PILOTTED SPACECRAFTS <i>Cherkashina N.I., Pavlenko V.I., Sokolenko I.V., Zhavoronkova M.K.</i>	48
USING NANO TUBE STRUCTURE FOR SYNTHESIZING RADIATION-PROTECTIVE SCREENS <i>Yastrebinsky R.N., Pavlenko V.I., Demchenko O.V.</i>	52
Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)	
RESULTS OF USE OF MEAT FINE-FLEECE BREED «ETTI MERINO» ON THE SOUTH KAZAKH MERINOS <i>Azhimetov N.N., Zhumadillaev N.K., Eskara M.A., Kosauova A.K., Abdramanov K.K.</i>	56
THE ROLE OF INDIVIDUAL AGRICULTURAL PRACTICES IN CROP FORMATION FAGOPYRUM ESCULENTUM MOENCH. IN THE FOREST ALTAI TERRITORY <i>Vazhov V.M., Kozil V.N., Vazhov S.V.</i>	60
Earth Science (25.00.00)	
USING RESEARCH RESULTS OF WATER RESOURCES IN LIPETSK REGION IN ECOLOGICAL EDUCATION OF STUDENTS <i>Anichkina N.V.</i>	65
THE INNOVATIVE TECHNOLOGY OF LEACHING ORES WITH THE USE OF SORBENT REDOXPOLYMERS <i>Akhmedzhanov T.K., Nuranbayeva B.M.</i>	70
LABORATORY RESEARCH OF DETERMINATION OF ORE AND ROCK COMPOSITION FOR CORRECTIONS OF MAIN PARAMETERS OF INTENSIVE HEAP LEACHING TECHNOLOGY <i>Bitimbaev M.Z., Oryngozhyn E.S., Dzhumabaev E.I.</i>	79

SORPTION OF ZINC IONS FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY NATURAL CLINOPTILOLITE TUFF <i>Eremin O.V., Epova E.S., Rusal O.S., Filenko R.A., Belomestnova V.A., Fedorenko E.V.</i>	86
PULSE PULVERIZATION OF BIOLOGY SORBENTS FOR LIQUIDATION OF OIL SPREAD AT WATER. <i>Zakhmatov V.D., Scherbak N.V., Gumeniuk V.I.</i>	92
RESPONSE OF THE THERMAL REGIME OF SMALL BOREAL LAKES ON DIFFERENT SCENARIOS OF ATMOSPHERIC FORCING <i>Zdorovennova G.E., Golosov S.D., Zverev I.S., Zdorovennov R.E., Terzhevik A.Y.</i>	100
BASES OF GEOINFORMATION SYSTEM IN DEVELOPMENT OF GEOTHERMAL POWER IN TURKMENISTAN <i>Penjiyev A.M., Penjiyeva D.A.</i>	104

УДК 662.641.047 + 699.81

МЕТОД АЗОТИРОВАНИЯ ТОРФА И СРЕДСТВА ЕГО ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ

¹Белозеров В.В., ²Олейников С.Н., ³Белозеров Вл.В.

¹ООО «Научный производственно-технологический центр «ОКТАЭДР», Ростов-на-Дону,

e-mail: octaedr@list.ru;

²ФГБОУ ВПО «Академия государственной противопожарной службы МЧС России», Москва,

e-mail: osn-fire@rambler.ru;

³ООО «Компания ТРИТАРТ», Ростов-на-Дону, *e-mail: isagraf@mail.ru*

В статье проведен системный анализ проблем, связанных с образованием и сохранением торфа. Предложен метод и средства азотирования торфа, которые позволяют и обнаружить, и предотвратить его саморазогрев, а также подавить тление и пожары торфяников газо-торфяными стволами-термозондами, с помощью сепарированного из воздуха азота. Для реализации предлагаемого метода разработаны средства тепловой локации «очагов саморазогрева» теми же газо-торфяными стволами-термозондами, а также мобильные установки сепарации азота из воздуха, для азотирования торфа и безопасного сохранения тем самым его свойств.

Ключевые слова: торф, азотирование, газо-торфяные стволы-термозонды, сепараторы воздуха, самовозгорание торфа

METHOD OF NITRIDING OF PEAT AND MEANS OF ITS FIRE PROTECTION

¹Belozеров V.V., ²Oleynikov S.N., ³Belozеров V.Vl.

¹ООО «Scientific «OCTAHEDRON» Production and Technological Center», Rostov-on-Don,

e-mail: octaedr@list.ru;

²FGBOU VPO «Academy of the public fire service of Emercom of Russia», Moscow,

e-mail: osn-fire@rambler.ru;

³ООО «TRITART Company», Rostov-on-Don, *e-mail: isagraf@mail.ru*

In article the system analysis of the problems connected with education and preservation of peat is carried out. The method and means of nitriding of peat which allow and to find and prevent its self-heating, and also to suppress decay and the fires of peat by the gas-peats the trunks – thermo-sensors, by means of the nitrogen separated from air is offered. For realization of the offered method means of a thermal location of «the self-heating centers» those by the gas-peats the trunks – thermo-sensors, and also mobile installations of separation of nitrogen from air, are developed for nitriding of peat and safe preservation, thereby, of its properties.

Keywords: peat, nitriding, gas-peat trunks thermo-sensors, air separators, peat self-ignition

По разным оценкам, в мире от 250 до 500 млрд т торфа (в пересчете на 40% влажность), он покрывает около 3% площади суши. Так, в Германии торфяники занимают 4,8%, в Швеции – 14%, в Финляндии – 30,6%. В России, лидирующей по запасам торфа, доля занятых им земель достигает 31,8% в Томской области, 12,5% – в Вологодской и т.д. Также большие запасы торфа имеются в Индонезии, Канаде, Ирландии, Великобритании, ряде штатов США и на Украине [10].

Сегодня торф используют в сельском хозяйстве и животноводстве, медицине, биохимии и энергетике. Развитие современных производственных технологий позволяет получать с помощью торфа плодородные грунты для выращивания пищевых растений, удобрения, стимуляторы роста растений, изоляционные материалы, графит, активный уголь и т.п. Актуальность его промышленного освоения заключается

в том, что **торф является возобновляемым источником**. Ежегодно в мире образуется почти 3,0 млрд м³ торфа, что примерно в 120 раз больше, чем используется [11].

Состояние проблемы и цель исследования

Разработке торфа предшествуют осушение и подготовка поверхности. Подготовка поверхности месторождения выполняется после сооружения осушительной сети и окончания предварительного осушения залежи. Именно в этом случае возрастает **опасность самовозгорания торфа**. При этом не обязателен приток тепла извне. В процессе участвуют микроорганизмы, продукты жизнедеятельности которых накапливаются в анаэробных условиях и приводят к постепенному прогреванию массы торфа до 60–65 °С. При процессах деструкции и последующем повышении температуры торф превращается в полукокс,

склонный к самовозгоранию при наличии и под действием кислорода воздуха. Самонагревание происходит со скоростью от 0,5 до 4,5 °C/сутки и более, и постепенно ускоряется. К возгоранию может быть склонен также и добытый торф в процессе его хранения [5].

Таким образом, актуальность разработки методов и средств предотвращения и тушения загораний торфа очевидна, но до настоящего времени, как показали пожары торфяников в 2010 году в Подмосковье, не решена. Бесполезность тушения торфа водой доказана В. Сретенским [1], который потушил своим способом торфяники в Удмуртии, затем в 1991 г. – в Балафтовском лесу Перми и под Новосибирском, в 2001 г. – в Пермском районе: *«т.к. в торфе содержится до 25 % битума, который воду задерживает, то тление будет продолжаться до полного выгорания, даже под слоем воды. Но есть одна особенность. Горит торф при 600 °C, а всего в каких-то 20–30 сантиметрах от кромки пожара температура торфа не горящего – уже лишь 10–15 °C, из-за его высокой теплоизолирующей способности. Поэтому простое механическое смешивание позволяет резко сбросить температуру в очаге до его полного угасания. Выполняется же это обычными бульдозерами – в течение каких-то часов и без привлечения кого-либо, кроме механизаторов».*

Аналогичным образом В. Сретенский в 2005 году потушил тысячетонные от-

валы коры на Краснокамском ЦБК, однако, до настоящего времени, многочисленные патенты [№ 2087167, № 2194553, № 2277956 и т.д.] и заявки на изобретения [№ 2002132872, № 2002103651, № 2008144904 и т.д.] в области тушения торфяных пожаров «продолжают использовать воду» и создавать специальные средства для этого [7].

Общим недостатком «водяных методов и средств», помимо их неэффективности, является **нарушение эксплуатации залежей торфа**, т.е. его добычи и использования.

Известны способы тушения лесов и торфяников различными агрегатными состояниями газов: «**бомбами**» с жидким азотом [8] и «**брикетами**» с гранулами диоксида углерода [9]. Общим недостатком указанных методов и средств является их «поверхностная эффективность», в то время как загорание и развитие торфяных пожаров происходит в глубине, недостижимой для них. Поэтому наибольшее распространение для тушения пожара получили ручные торфяные стволы [6].

Метод решения проблемы

Сущность предлагаемого метода азотирования торфа состоит в том, что с помощью сепаратора [2, 3], из воздуха отделяется кислород, который возвращается в атмосферу, а азот и остальные компоненты вводятся газо-торфяными стволами-термозондами (ГТСТЗ) в зону саморазогрева торфа (рисунок).

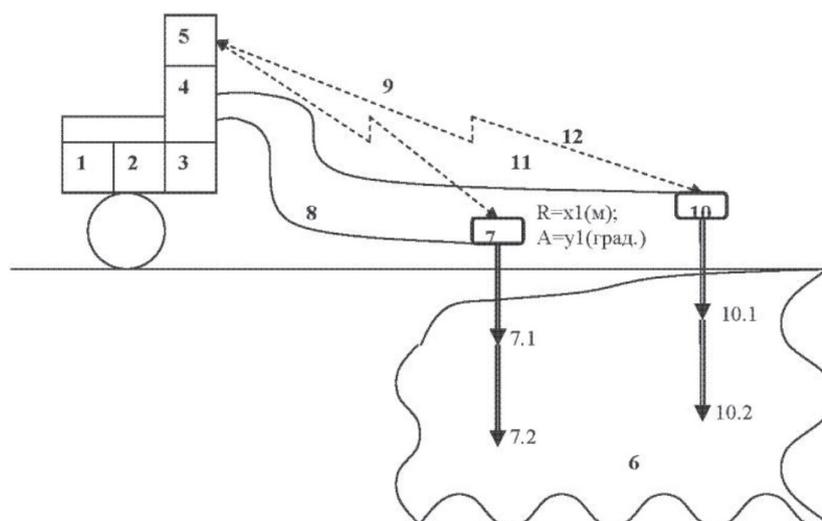


Схема азотирования торфяника

Предлагаемый метод отличается тем, что перед подачей азота в торф ГТСТЗ измеряют температуру в нём на предмет обнаружения «очага саморазогрева». Дело в том, что в отличие от применяемых торфяных стволов, ГТСТЗ имеют по два температурных датчика (в конце ствола – 7.2, 10.2 и посередине его – 7.1, 10.1), что позволяет получить градиенты температур [4], по которым вычислить «очаг саморазогрева», после чего подать в его зону азот через те же ГТСТЗ.

Установка для азотирования торфа включает в себя следующие устройства [3]:

- мотокомпрессор (1 – двигатель, 2 – компрессор),
- сепаратор воздуха (3),
- ресивер (4),
- радиоблок (5) управления (контроллер с радиомодемами и приемопередатчиком ГЛОНАСС).

Каждый ГТСТЗ присоединяется к ресиверу стандартными коммуникациями пожаротушения (рукавами) через регуляторы расхода и давления, встроенные в ресивер.

На каждом ГТСТЗ установлен радиомодем, осуществляющий управление процессами измерения температур, а на установке для азотирования – радиоблок с контроллером управления, который осуществляет:

- опрос датчиков температуры всех ГТСТЗ через радиомодемы;
- определение абсолютных значений и градиентов температур между датчиками температур ГТСТЗ;
- определение «очага саморазогрева» по измеренным значениям температур;
- сохранение измеренных и вычисленных данных и создание базы данных о географическом и тепловом «образе» торфяника на жестком диске;
- управление параметрами работы воздушного компрессора, сепаратора воздуха и регуляторов расхода и давления.

Установку предпочтительно выполнить мобильной (на базе автомобиля или мотопомпы) с силовым приводом компрессора в виде редуктора к двигателю внутреннего сгорания.

Сепаратор может быть выполнен в виде термомагнитного сепаратора воздуха (ТМСВ), диамагнитный выход которого соединен с ресивером, а парамагнитный выход – с атмосферой [2], или в виде батареи половолоконных мембран и охладителя, причем батарея половолоконных мембран должна быть выполнена с возможностью разделения воздуха на инертный газ

с высоким содержанием азота и на остальной газ с высоким содержанием кислорода. При этом выход компрессора соединен с указанной батареей, выход азота которой соединен с охладителем, соединенным в свою очередь с ресивером [3].

С целью обеспечения постоянного контроля за состоянием торфа на складе, установка может быть выполнена стационарной, а силовой привод (2) выполнен в виде электродвигателя.

Установка работает следующим образом.

Установку размещают вблизи торфяника или торфяного склада (10), включают контроллер (5) и вводят в него координаты места размещения установки (град. и мин широты и долготы), чем обеспечивают точную географическую привязку месторождения торфа или склада, на котором проводится профилактика или тушение пожара. После этого втыкают в начало торфяника или торфяного склада (6) первый ГТСТЗ и включают его радиомодем (7).

Контроллер (5) опрашивает датчики температуры (7.1, 7.2) первого ГТСТЗ (7), определяя абсолютные значения температур торфа в двух точках и вычисляя градиент между ними. Если полученные данные не превышают допустимых значений, то контроллер (5) вычисляет место установки второго (следующего) торфяного ствола-термозонда (10) и выдает на пульт оператора азимут А (град. мин) и расстояние R (м) до следующей точки измерений. В указанную позицию втыкают второй (следующий) ГТСТЗ и включают его радиомодем (10).

Указанный процесс повторяют до тех пор, пока не будет прозондирован весь торфяник или склад, а его «образ» (географический и тепловой) будет зафиксирован в памяти контроллера (5).

При этом если по превышению измеренных абсолютных значений температуры и/или градиента температуры контроллер (5) обнаруживает «предпожарное» состояние или пожар, то он, управляя мотокомпрессором (1, 2), сепаратором (3) и регуляторами расхода и давления в ресивере (4), подает в соответствующий ГТСТЗ (7, 10) азот под регулируемым давлением от 2 до 10 атм., осуществляя таким образом «выдавливание кислорода» из зоны действия ГТСТЗ (7, 10) и охлаждение участка. При этом интенсивность и время подачи азота регулируется контроллером (5) в зависимости от градиентов температур и абсолютных значений температур. Это позволяет выдавить кислород из торфа и охладить его, чем на дли-

тельный срок подавить процессы саморазогрева торфа в зоне обработки ГТСТЗ (7, 10), т.к. торф имеет низкий коэффициент теплопроводности.

Процесс «насыщения» азотом и охлаждения зоны действия ГТСТЗ (7,10) является периодическим, т.е. по истечении установленного времени ингибирования контроллер (5) прекращает подачу азота, и в течение установленного времени контролирует производные температур, прогнозируя значения температур, которые установятся без дальнейшей подачи азота. Если прогнозируемое значение равно уставке, то контроллер (5) выдает на пульт оператора азимут А (град. мин) и расстояние R (м) до следующей точки измерений, куда необходимо переставить ГТСТЗ (7, 10), или сообщение о его выключении. В противном случае контроллер (5) пересчитывает интенсивность и время подачи инертного газа и осуществляет дальнейшее ингибирование и охлаждение.

Через выпускной электромагнитный клапан (не показан) ресивера (4) азот стравливается в атмосферу, если производительность его генерации оказывается выше изменяемого контроллером (5) расхода, для предотвращения или тушения пожара.

Выводы

Предлагаемые метод и средства не имеют мировых аналогов и позволят обе-

спечить полную безопасность торфяников и торфа.

Список литературы

1. А.с. СССР № 1591999, 15.05.1990, заявитель – НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства г. Пермь.
2. Белозеров В.В., Босый С.И., Видецких Ю.А., Новиков А.А., Пирогов М.Г., Толмачев Г.Н. Способ термоманитной сепарации воздуха и устройство для его осуществления – патент РФ на изобретение № 2428242 от 10.09.2011.
3. Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Кальченко И.Е., Мальцев Г.И., Плахотников Ю.Г., Прус Ю.В., Олейников С.Н. Способ предотвращения или обнаружения и тушения торфяных пожаров и установка для реализации способа – патент РФ на изобретение № 2530397 от 10.10.2014.
4. Белозеров В.В., Гольцов Ю.И., Шпак Л.А., Юревич В.Э. Позисторные датчики температуры для стенда термоэлектропрогона изделий электронно-вычислительной техники – Известия РАН (сер.физ.). – 1993. – Т. 37, № 6. – С. 155–158.
5. Горная энциклопедия. Самовозгорание торфа. Интернет-ресурс <http://www.miningenc.ru/s/samovozgoranie-torfa/>.
6. Патент РФ № 2194553, заявка 2001102345/12 от 25.01.2001, опубл. 20.12.2002.
7. Система тушения лесоторфяных пожаров с использованием мотопомпы «ГЕЙЗЕР» и специального торфяного ствола – <http://www.systempro.ru/tovar/system/motopompy/>.
8. Способ тушения лесных пожаров – патент РФ № 2147901, заявка 98118527/12 от 12.10.1998, опубл. 27.04.2000.
9. Способ тушения огня и устройство для его реализации – патент РФ № 2291730, заявка 2006104290/12 от 14.02.2006, опубл. 20.01.2007.
10. Тюремнов С.Н. Торфяные месторождения – М.: «Недра», 1976.
11. Bowman A.F. Soils and the Greenhouse Effect, 1990 – <http://www.atlantika-servis.ru/torf/t2.htm>.

УДК 54-76

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАКУУМНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТА ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Гасанов С.К., Ястребинский Р.Н., Павленко В.И.

*ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,
Белгород, e-mail: yrndo@mail.ru*

В данной работе проведено описание полимерных материалов и композитов, которые используются в различных отраслях промышленности. Особое внимание уделено применению полимерных композитов в космосе. Описаны негативные факторы, которые влияют на работоспособность полимеров в космосе. В работе представлены данные по обработке полимерных материалов вакуумным ультрафиолетом с целью выявления сглаживания их поверхности. В качестве полимерных материалов использовали полимерные композиты, полученные на основе полистирола и кремнийорганического наполнителя – метилполисилоксана. Для выяснения специфики деградации поверхностного слоя композитов под влиянием вакуумного ультрафиолетового излучения была исследована морфология композитов до и после воздействия методов сканирующей зондовой микроскопией (атомно-силовой метод). Доказано, что облучение композитов приводит к уменьшению шероховатости поверхностного слоя, не затрагивая более глубокие слои материала. Также авторами были вычислены значения основных статистических параметров поверхности полистирольного композита по данным зондовой микроскопии.

Ключевые слова: полимер, композит, вакуумный ультрафиолет, зондовая микроскопия, морфология поверхности

USING VACUUM ULTRAVIOLET TO REDUCE ROUGHNESS SURFACE OF THE POLYMER COMPOSITES

Gasanov S.K., Yastrebinsky R.N., Pavlenko V.I.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, e-mail: yrndo@mail.ru

In this work the description of polymeric materials and composites, which are used in various industries. Particular attention is paid to the application of polymer composites in space. Described negative factors that affect the performance of polymers in space. The paper presents the data processing of polymeric materials by vacuum ultraviolet light in order to detect the surface smoothing. The polymeric materials used as polymer composites derived from polystyrene and silicone-filler methylpolysiloxane. To determine the specificity of the degradation of the surface layer of the composites under the influence of vacuum ultraviolet radiation was investigated morphology of composites before and after the impact of the methods of scanning probe microscopy (atomic force method). It is proved that the irradiation of composites decreases the roughness of the surface layer without affecting the deeper layers of the material. Also, the authors were calculated basic statistical parameters of the surface of the polystyrene composite according probe microscopy.

Keywords: polymer, composite, vacuum ultraviolet, probe microscopy, surface morphology

Полимеры в повседневной жизни окружают нас везде. Простейшим примером полимеров является пластмасса, целлофан, клей, резина. Но это ещё не всё, так, например, наружный скелет всех членистоногих, самых распространённых представителей животного царства, состоит из полимера Хитин.

Используя полимеры, можно создавать полимерные композитные материалы (ПКМ), которые включают в себя полезные свойства своих компонентов [1, 6, 7, 9, 13, 27]. Существует ряд преимуществ ПКМ над традиционными видами материалов (металлов, керамики, дерева и т.п.) [2, 8, 24, 25].

Свойствами полимерных композитов можно управлять, изменяя их состав и условия получения, так, например, можно просто увеличивать или уменьшать долю наполнителя полимерного композита [5, 11, 21–23, 30–32].

Полимерные композиты имеют большой потенциал в космонавтике. Они легки

в изготовлении, снижают вес космического аппарата, что в свою очередь снижает стоимость доставки на орбиту и повышает срок использования аппарата. Из полимерных композитов изготавливают некоторые детали космических аппаратов, например детали обшивки ракетоносителя, каркасы для солнечных батарей, панели терморегулирования. Также полимерные композиты не уступают, а иногда и превосходят по своим свойствам традиционные материалы, используемые в космонавтике [14, 20].

Для панелей терморегулирования космических аппаратов очень важна поверхность, от которой сильно зависят их функциональные свойства. Известно, что в космосе действует ряд негативных факторов, которые приводят к деструкции поверхности полимеров и композитов на их основе – это и вакуумный ультрафиолет, и атомарный кислород, и электронное облучение, и др. [3, 4, 10, 12, 15, 17–19, 26, 28,

29]. Для отражательной способности терморегулирующих покрытий важна гладкая поверхность. Чем меньше будет шероховатость поверхности, тем лучше будут отражательные свойства материала.

В данной работе представлены данные по обработке полимерных материалов вакуумным ультрафиолетом с целью выявления сглаживания их поверхности.

Цель исследования

Изучить возможность обработки вакуумным ультрафиолетом полимерных материалов с целью сглаживания шероховатости их поверхности.

Материалы и методы исследования

В качестве полимерных материалов использовали полимерные композиты, полученные на основе полистирола и кремнийорганического наполнителя – метилполисилоксана. Синтез композитов описан в [16].

Облучение вакуумным ультрафиолетом проводилось в специализированной установке для технологических и специальных испытаний образцов из полимеркомпозитов в условиях, приближенных к околоземному космическому пространству.

Эта установка позволяет произвести испытания в условиях космического пространства. Среди этих условий – воздействие ультрафиолета в вакууме, космическая радиация и воздействие перепадов температур. Длина волны вакуумного ультрафиолета составляла от 90 до 115 нм, температура облучения – 20 °С, а общее время облучения – 24 часа.

Результаты исследования и их обсуждение

Для выяснения специфики деградации поверхностного слоя композитов под влиянием вакуумного ультрафиолетового излу-

чения была исследована морфология композитов до и после воздействия методов сканирующей зондовой микроскопией (атомно-силовой метод). Использование данного метода позволит изучить химический состав и структуру поверхности, получить изображения поверхности с атомарным разрешением, манипулировать атомами на поверхности и изучать процессы, происходящие под воздействием вакуумного ультрафиолета, протекающие на поверхности.

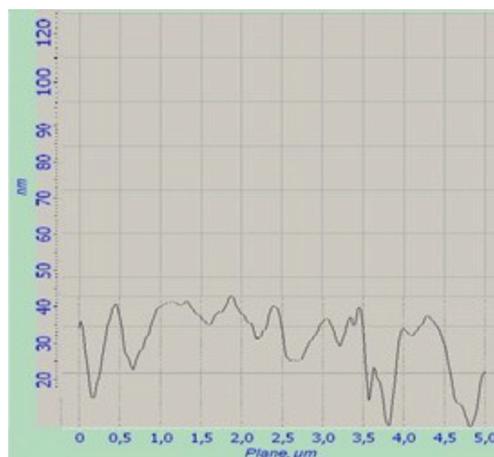
На рис. 1, а, б представлены АСМ-изображения поверхности композита до и после обработки вакуумным ультрафиолетом, полученные с помощью зондовой микроскопии. Представлены изображения поверхности композита с 65 % содержанием наполнителя. Анализ параметров шероховатости поверхности проводился на площади 5×5 мкм.

Сравнение двумерной модели рельефа поверхности композита до и после облучения вакуумным ультрафиолетом (рис. 1) указывает на изменение структуры поверхностного слоя композитов в нанодиапазоне. Облучение композитов приводит к уменьшению шероховатости поверхностного слоя, не затрагивая более глубокие слои материала.

Изменение высоты нанорельефа поверхности указывает на протекание процессов травления поверхностного слоя. На поверхности исходного композита установлено образование более рельефных остроконечных структур (рис. 1, а) в сравнении с более гладкими образованиями, наблюдаемыми у композита после облучения (рис. 1, б).



а



б

Рис. 1. Двумерная модель рельефа поверхности композита до облучения (а) и после облучения вакуумным ультрафиолетом (б)

Также авторами вычислены значения основных статистических параметров поверхности полистирольного композита по данным зондовой микроскопии, таких как максимум (max); минимум (min); 10 точек по высоте (Sz), средняя шероховатость (Sa) и среднеквадратичная шероховатость (Sq), которые также численно подтверждают, что вакуумный ультрафиолет приводит к сглаживанию рельефа поверхности.

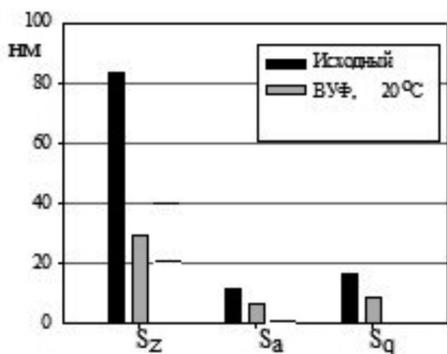


Рис. 2. Значения Sz, Sa, Sq поверхности композита до и после обработки вакуумным ультрафиолетом

Заклучение

В ходе проведенных исследований были изучены свойства полимерного композита на основе полистирола и кремнийорганического наполнителя – метилполисилоксана. Его поверхность была подвергнута обработке вакуумным ультрафиолетом. Облучение вакуумным ультрафиолетом проводилось в специализированной установке для технологических и специальных испытаний образцов из полимеркомпозитов. Длина волны вакуумного ультрафиолета составляла от 90 до 115 нм, температура облучения – 20 °С, а общее время облучения – 24 часа.

Для выяснения специфики деградации поверхностного слоя композитов под влиянием вакуумного ультрафиолетового излучения была исследована морфология композитов до и после воздействия методов сканирующей зондовой микроскопией (атомно-силовой метод).

Доказано, что облучение композитов приводит к уменьшению шероховатости поверхностного слоя, не затрагивая более глубокие слои материала. Также авторами были вычислены значения основных статистических параметров поверхности полистирольного композита по данным зондовой микроскопии, такие как максимум

(max); минимум (min); 10 точек по высоте (Sz), средняя шероховатость (Sa) и среднеквадратичная шероховатость (Sq), которые также численно подтверждают, что вакуумный ультрафиолет приводит к сглаживанию рельефа поверхности.

Работа выполнена при поддержке проектной части Государственного задания Минобрнауки РФ, проект № 11.2034.2014/К.

Список литературы

1. Матюхин П.В. Жаропрочный радиационно-защитный композиционный материал конструкционного назначения / П.В. Матюхин, В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, Н.И. Черкашина, В.А. Дороганов, Е.И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 10. – С. 32–36.
2. Матюхин П.В. Термостойкие радиационно-защитные композиционные материалы, эксплуатируемые при высоких температурах / П.В. Матюхин, В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, В.А. Дороганов, Н.И. Черкашина, Е.И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 7–8. – С. 23–25.
3. Павленко В.И. Влияние вакуумного ультрафиолета на микро- и наноструктуру поверхности модифицированных полистирольных композитов / В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Перспективные материалы. – 2013. – № 3. – С. 14–19.
4. Павленко В.И. Влияние вакуумного ультрафиолета на поверхностные свойства высоконаполненных композитов / В.И. Павленко, В.Т. Заболотный, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Физика и химия обработки материалов. – 2013. – № 2. – С. 19–24.
5. Павленко В.И. Влияние содержания кремнийорганического наполнителя на физико-механические и поверхностные свойства полимерных композитов / В.И. Павленко, Н.И. Черкашина, В.В. Сухорослова, Ю.М. Бондаренко // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 95.
6. Павленко В.И. Дефектность кристаллов модифицированного гидроксида титана, подвергнутого термической обработке / В.И. Павленко, О.В. Куприева, Н.И. Черкашина, Р.Н. Ястребинский // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58, № 5. – С. 125–129.
7. Павленко В.И. Изучение коэффициентов ослабления фотонного и нейтронного пучков при прохождении через гидрид титана / В.И. Павленко, О.Д. Едаменко, Н.И. Черкашина, О.В. Куприева, А.В. Носков // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2015. – № 6. – С. 21.
8. Павленко В.И. Модифицирование поверхности гидроксида титана боросиликатом натрия / В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, О.В. Куприева, Р.Н. Ястребинский, Н.И. Черкашина // Перспективные материалы. – 2014. – № 6. – С. 19–24.
9. Павленко В.И. Радиационно-защитный композиционный материал на основе полистирольной матрицы / В.И. Павленко, О.Д. Едаменко, Р.Н. Ястребинский, Н.И. Черкашина // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 113–116.
10. Павленко В.И. Расчет ионизационных и радиационных энергетических потерь быстрых электронов в полистирольном композите / В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, Н.И. Черкашина // Перспективные материалы. – 2015. – № 8. – С. 5–11.
11. Павленко В.И. Повышение эффективности антикоррозионной обработки ядерного энергетического оборудования путем пассивации в алюминийсодержащих растворах / В.И. Павленко, В.В. Прозоров, Л.Л. Лебедев, Ю.И. Слепконов, Н.И. Черкашина // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2013. – Т. 56, № 4. – С. 67–70.
12. Павленко В.И. Экспериментальное и физико-математическое моделирование воздействия набегающего потока

- атомарного кислорода на высоконаполненные полимерные композиты / В.И. Павленко, Л.С. Новиков, Г.Г. Бондаренко, В.Н. Черник, А.И. Гайдар, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Перспективные материалы. – 2012. – № 4. – С. 92–98.
13. Павленко В.И. Эффективный способ получения термостойкого кристаллического нанопорошка вольфрамата свинца для жаростойких радиационно-защитных материалов / В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, В.А. Дороганов, И.В. Соколенко, Н.И. Черкашина, Е.И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 7–8. – С. 32–36.
14. Павленко В.И. Явления электризации диэлектрического полимерного композита под действием потока высокоэнергетических протонов / В.И. Павленко, А.И. Акишин, О.Д. Едаменко, Р.Н. Ястребинский, Д.Г. Тарасов, Н.И. Черкашина // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010. – Т. 12, № 4–3. – С. 677–681.
15. Павленко В.И. Суммарные потери энергии релятивистского электрона при прохождении через полимерный композиционный материал / В.И. Павленко, О.Д. Едаменко, Н.И. Черкашина, А.В. Носков // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2014. – № 4. – С. 101–106.
16. Черкашина Н.И. Воздействие вакуумного ультрафиолета и кислородной плазмы на структуру и устойчивость полистирольного композита с органосилоксановым наполнителем: диссертация ... кандидата технических наук. – Белгород, 2013.
17. Черкашина Н.И. Исследование влияния вакуумного ультрафиолета на морфологию поверхности нанонаполненных полимерных композиционных материалов в условиях приближенных к условиям околоземного космического пространства / Н.И. Черкашина, В.И. Павленко, А.С. Едаменко, П.В. Матюхин // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 130.
18. Черкашина Н.И. Воздействие вакуумного ультрафиолета на полимерные нанокомпозиты // Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения): Материалы Межд. научно-практич. конференции. – 2010. – С. 246–249.
19. Черкашина Н.И. Моделирование воздействия космического излучения на полимерные композиты с применением программного комплекса GEANT4 // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3. – С. 122.
20. Черкашина Н.И. Перспективы создания радиационно-защитных полимерных композитов для космической техники в Белгородской области / Н.И. Черкашина, В.И. Павленко / Белгородская область: прошлое, настоящее, будущее. Материалы областной научно-практической конференции в 3-х частях. – 2011. – С. 192–196.
21. Черкашина Н.И. Разработка наноструктурированных вяжущих на основе местного сырья Белгородской области для штукатурных растворов // В сборнике: Материалы I Международной научно-практической конференции «Проблемы строительного производства и управления недвижимостью». – Кемерово, 2010. – С. 67–70.
22. Черкашина Н.И. Синтез высокодисперсного гидробоного наполнителя для полимерных матриц / Н.И. Черкашина, А.А. Карнаузов, А.В. Бурков, В.В. Сухорослова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 6. – С. 156–159.
23. Ястребинский Р.Н. Модифицированные железокислотные системы – эффективные сорбенты радионуклидов / Р.Н. Ястребинский, В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, А.В. Ястребинская, Н.И. Черкашина // Перспективные материалы. – 2013. – № 5. – С. 39–43.
24. Ястребинский Р.Н. Структурно-фазовая характеристика боросиликатного покрытия // Р.Н. Ястребинский, О.В. Куприева, Н.И. Черкашина // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2014. – Т. 57, № 9. – С. 20–23.
25. Matyukhin P.V. The high-energy radiation effect on the modified iron-containing composite material / P.V. Matyukhin, V.I. Pavlenko, R.N. Yastrebinsky, N.I. Cherkashina // Middle East Journal of Scientific Research. – 2013. – Т. 17, № 9. – P. 1343–1349.
26. Pavlenko V.I. Effect of vacuum ultraviolet on the surface properties of high-filled polymer composites / V.I. Pavlenko, N.I. Cherkashina, O.D. Edamenko, V.T. Zabolotny // Inorganic Materials: Applied Research. – 2014. – Т. 5, № 3. – P. 219–223.
27. Pavlenko V.I. Modification of titanium hydride surface with sodium borosilicate / V.I. Pavlenko, O.V. Kuprieva, R.N. Yastrebinskii, N.I. Cherkashina, G.G. Bondarenko // Inorganic Materials: Applied Research. – 2014. – Т. 5, № 5. – P. 494–497.
28. Pavlenko V.I. Total energy losses of relativistic electrons passing through a polymer composite / V.I. Pavlenko, O.D. Edamenko, N.I. Cherkashina, A.V. Noskov // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2014. – Т. 8, № 2. – P. 398–403.
29. Pavlenko V.I. Using the high-dispersity $[\alpha]\text{-Al}_2\text{O}_3$ as a filler for polymer matrices, resistant against the atomic oxygen / V.I. Pavlenko, N.I. Cherkashina, A.V. Yastrebinskaya, P.V. Matyukhin, O.V. Kuprieva // World Applied Sciences Journal. – 2013. – Т. 25, № 12. – P. 1740–1746.
30. Pavlenko V.I. Study of the attenuation coefficients of photon and neutron beams passing through titanium hydride / V.I. Pavlenko, O.D. Edamenko, N.I. Cherkashina, O.V. Kuprieva, A.V. Noskov // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2015. – Т. 9, № 3. – P. 546–549.
31. Slyusar' O.A. Effect of additives on dispersed system structure formation / O.A. Slyusar', R.N. Yastrebinskii, N.I. Cherkashina, V.A. Doroganov, A.V. Yastrebinskaya // Refractories and Industrial Ceramics. – 2015.
32. Yastrebinsky R.N. Modifying the surface of iron-oxide minerals with organic and inorganic modifiers / R.N. Yastrebinsky, V.I. Pavlenko, P.V. Matyukhin, N.I. Cherkashina, O.V. Kuprieva // Middle East Journal of Scientific Research. – 2013. – Т. 18, № 10. – P.1455–1462.

УДК 54.057

ЭВОЛЮЦИЯ НАНОЛИСТОВЫХ СТРУКТУР ПСЕВДОБОЕМИТА ПРИ ОКИСЛЕНИИ ВОДОЙ НАНОЧАСТИЦ AL И AL/ALN

Горбиков И.А., Казанцев С.О.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, e-mail: ermain77@mail.ru

В представленной работе приводятся результаты исследования процесса эволюции нанолитовых структур при окислении водой наночастиц Al и Al/AlN. Процесс окисления наночастиц характеризуется 4 стадиями изменения pH реакционной среды. С помощью просвечивающей электронной микроскопии была изучена морфология промежуточных продуктов окисления, выделенных на каждой стадии. Показано, что за счет оксидной пленки при окислении наночастиц Al образуются полые сферы, покрытые мезопористой оболочкой из нанолитов псевдобоемита. В результате окисления наночастиц Al/AlN образуются агломераты нанолитов псевдобоемита без полостей. Состав и текстура продуктов окисления водой Al и Al/AlN идентичны.

Ключевые слова: электрический взрыв проводника, нанопорошок алюминия, композиция Al/AlN, окисление, боемит, нанолиты, полые сферы

EVOLUTION OF NANOSHEET STRUCTURES OF PSEUDOBOEHMITE IN THE OXIDATION OF WATER AL AND AL/ALN NANOPARTICLES

Gorbikov I.A., Kazantsev S.O.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: ermain77@mail.ru

In the present paper we present the results of a study of the evolution of nano-sheet structures of nanoparticles in the oxidation of water Al and Al / AlN. The oxidation of nanoparticles is characterized by changes in pH 4 stages of the reaction medium. Morphology of intermediate oxidation products extracted at each stage was study with transmission electron microscop. It was shown that due to oxidation at the oxide film Al nanoparticles formed hollow spheres coated mesoporous sheath of nanosheets pseudoboehmite. As the result of oxidation of Al/AlN nanoparticles, was formed agglomerate of pseudoboehmite nanosheets without hollow. The composition and texture of the product water oxidation Al and Al / AlN identical.

Keywords: electrical explosion of conductors, aluminum nanopowder, the composition of Al / AlN, oxidation, boehmite, nanosheets, hollow spheres

Оксидные фазы алюминия находят широкое применение в катализе, технологиях очистки воды, при модифицировании полимерных материалов [1, 6], в медицинской отрасли [4]. Синтез оксидов алюминия осуществляется различными способами: осаждением из солей, зольгель методом, гидролизом алколюлятов алюминия, гидротермальным окислением алюмогелей, лазерной абляцией, механохимическими методами, а также окислением металлического алюминия и др. Данными методами получают разнообразные по морфологии и фазовому составу оксиды алюминия: наносуы, наноцветки, нанопроволоку, нановолокна, наностержни, нанотрубки, нанолиты, нанопластинки и т.д. [1].

Перспективными структурами являются полые сферы на основе оксигидроксидов алюминия. Гидротермальный метод их получения из различных прекурсоров при температуре 160 °С, а также эволюция морфологии в зависимости от времени обработки (2 и 24 часа), описаны в работе [3]. В работах [8, 2] также рассматривается гидротермальный синтез полых сфер при тем-

пературах 160 °С и выше, проводившийся в течение 3–24 часов.

Метод окисления нанопорошка алюминия водой, является одним из перспективных способов получения микро- и наноструктур оксидов алюминия [5]. Одним из преимуществ данного метода является то, что он не требователен к точному контролю параметров реакции. Так, окисление начинается при нагревании водной суспензии до 40–60 °С. В результате реакции происходит полное окисление алюминия с образованием нанолитов псевдобоемита [9].

В большинстве случаев окисление водой наночастиц алюминия рассматривается как перспективный метод получения водорода, и гораздо меньше внимания уделяется продуктам окисления [7]. В связи с этим целью работы является изучение особенностей окисления водой наночастиц Al и Al/AN.

Материалы и методы исследования

В качестве исходных продуктов для синтеза наноструктур на основе оксигидроксидов алюминия использовали нанопорошки Al и Al/AlN. Нанопорошки были получены электрическим взрывом алюминиевого проводника в атмосфере аргона и в атмосфере

азота, при давлении газовых сред $5 \cdot 10^5$ Па и пассивированные медленным напуском воздуха.

Окисление водой нанопорошков проводили в термоизолированном сосуде. Для этого навеску порошка массой 1,0 г помещали в 100 мл дистиллированной воды и нагревали до 60°C . Для исследований промежуточных продуктов окисления методом ПЭМ, из реакционной среды на различных стадиях процесса отбирали пробы объемом 5 мкл.

Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) проводилась на электронном микроскопе JEOL JEM-2100. Продукты окисления нанопорошков также исследовали с помощью интегрированного в микроскоп энергодисперсионного рентгеновского спектрометра X-Max в режиме картирования. Исследование фазового состава продуктов окисления проводилось на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD 6000 на Cu K α излучении. Удельную поверхность и распределение пор по размерам определяли по изотерме сорбции азота на анализаторе удельной поверхности Sorbtometer-M в статических условиях.

Результаты исследования и их обсуждения

Исходные частицы Al имеют сферическую форму и средний размер 98 нм (рис. 1, а). При электрическом взрыве проводника в атмосфере азота, образуется композит Al/AlN с соотношением 30/70% масс. Данные частицы имеют преимущественно

ярко выраженную огранку и средний размер 86 нм (рис. 1, в). Пассивация порошка на воздухе приводит к образованию на поверхности частиц оксидной пленки. Согласно данным ПЭМ, толщина оксидной пленки Al составляет 4 нм (рис. 1, б), толщина оксидной пленки Al/AlN составляет около 1 нм (рис. 1, г). По данным точечного элементного анализа, ограненные частицы являются нитридом алюминия, в сферических частицах присутствует преимущественно алюминий.

Было установлено, что полное окисление водой нанопорошков в данных условиях происходит за 40 минут. Окисление водой сопровождается экстремальным изменением pH (рис. 2, кривые 1) и температуры реакционной среды (рис. 2, кривые 2). Характер кривых изменения pH и температуры позволяет выделить следующие стадии окисления нанопорошков: I – индукционный период, в котором не происходит изменения pH; II – монотонный рост pH реакционной среды; III – саморазогрев реакционной среды, сопровождающийся кратковременным снижением pH; IV – достижение максимального уровня pH.

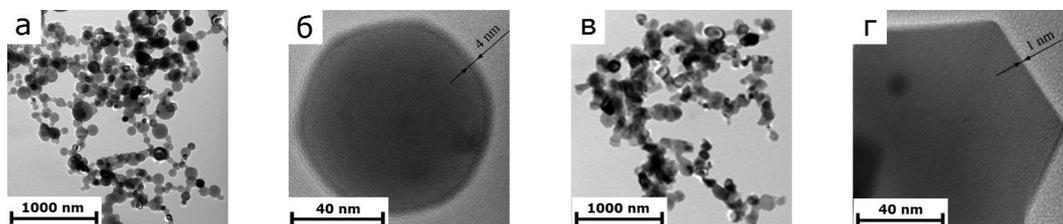


Рис. 1. Изображения наночастиц Al (а, б) и Al/AlN (в, г), полученные методом ПЭМ

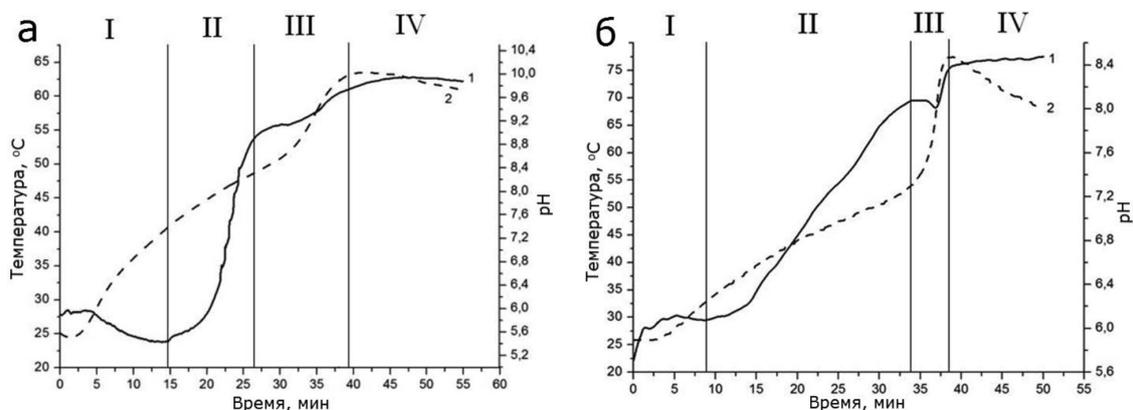


Рис. 2. Кинетические кривые 1 – pH, 2 – температуры при окислении нанопорошка Al/AlN (а), и Al (б)

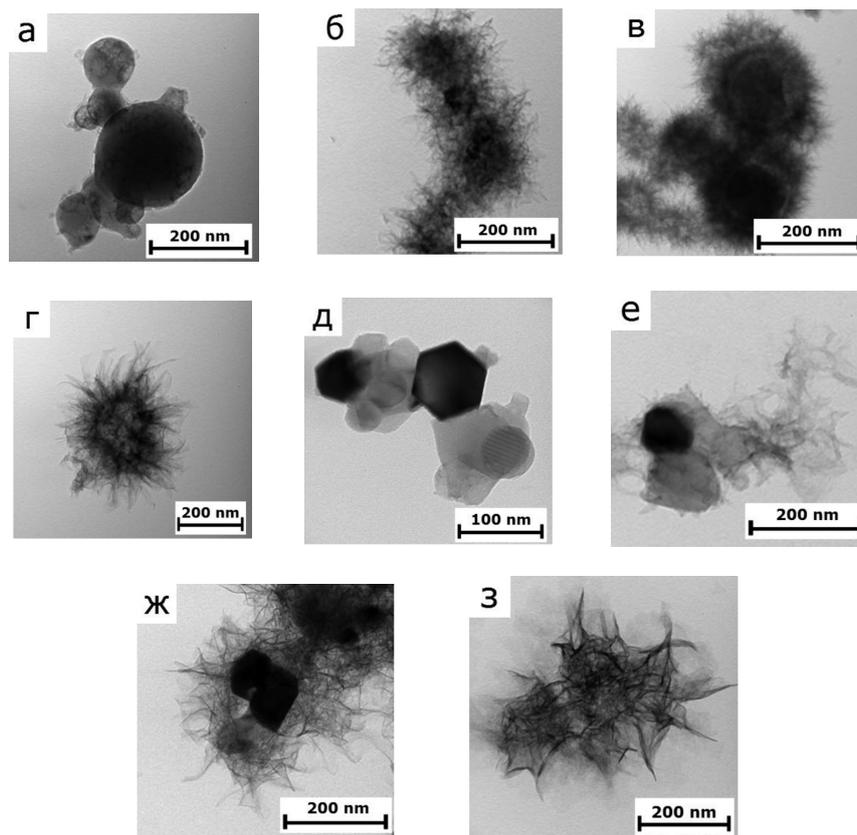


Рис. 3. ПЭМ-изображения промежуточных продуктов реакции Al (а-г) и Al/AlN (д-з) с водой через 25 мин (а, д), 35 мин (б, е), 38 мин (в, ж), 40 мин (г, з)

Для понимания механизма реакции исследовали промежуточные продукты реакции нанопорошков с водой. Для этого отбирали пробы суспензии из реактора на разных стадиях процесса и изучали их с помощью ПЭМ. На рис. 3 представлены характерные изображения продуктов окисления наночастиц Al и Al/AlN водой на различных стадиях: на 25 минуте – на второй стадии процесса (рис. 3, а, д), в интервале между 35 и 38 минутами процесса – начало и окончание стадии с наибольшей скоростью окисления (рис. 3, б, е, в, ж, соответственно), через 40 минут – замедление реакции, прекращение газовой выделения, достижение максимального значения pH (рис. 3, г, з).

Во время индукционного периода (стадия I) не наблюдается изменений pH, реагирующие наночастицы не отличаются от исходных наночастиц. На стадии II происходит формирование островков аморфного оксида алюминия на поверхности наночастиц (рис. 3, а, д). По данным ПЭМ, размер островков составляет 5–30 нм. В начале III стадии окисления, на поверхности частиц образуются тонкие пластинчатые

структуры бемита (рис. 3, б, е). В ходе III стадии достигается максимальная скорость и температура реакции, в центре алюминиевой частицы наблюдается частично прореагировавшее алюминиевое ядро (рис. 3, в). Образование полостей при реакции наночастиц Al/AlN с водой не наблюдается (рис. 3, ж). На ПЭМ-изображениях видно, что размер наноллистов бемита на поверхности реагирующих частиц увеличивается и достигает 100–250 нм.

В результате полного окисления водой наночастиц алюминия образуются полые сферы размером 400–800 нм. Оболочку полых сфер составляют наноллисты с планарным размером 100–300 нм и толщиной 2–8 нм. Размер полостей внутри сфер приблизительно равен 80–150 нм, то есть размеру наночастицы алюминия, которые использовались в качестве прекурсора (рис. 3, г). При окислении водой наночастиц Al/AlN полых сфер не образуется. Морфология частиц представляет собой агломераты наноллистов размером до 1 мкм. Планарный размер отдельных наноллистов достигает 300 нм при толщине 2–8 нм.

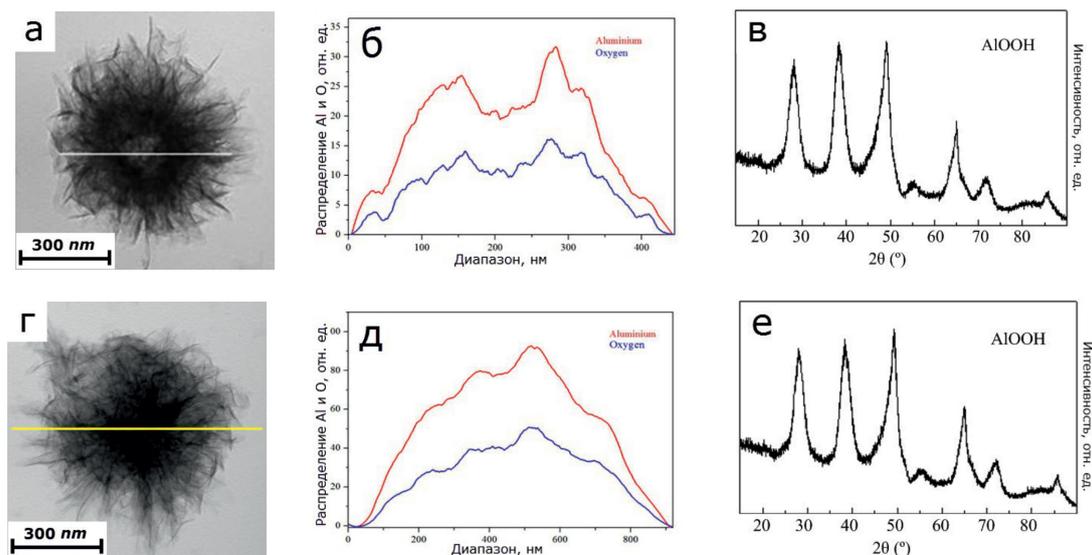


Рис. 4. ПЭМ-изображения (а, г), ЭДС анализ (б, д) и РФА (в, е) продукта окисления Al и Al/AlN, соответственно

На рис. 4 представлены результаты ПЭМ-ЭДС и РФА синтезированных образцов. Как видно из рис. 4, б, в центре реагирующей частицы интенсивность спектра Al и O по центру частицы снижается. Это подтверждает наличие полости в центре частицы.

В случае окисления Al/AlN, частица не имеет полости в своем объеме. Образовавшаяся структура является сплошным агломератом нанолитов (рис. 4, г–е).

По данным РФА при окислении нанопорошков образуется псевдобемит (рис. 4, в, е). Удельная поверхность продуктов окисления Al составила $284,7 \text{ м}^2/\text{г}$, Al/AlN – $296,3 \text{ м}^2/\text{г}$. Образцы имеют щелевидные поры шириной от 4 до 20 нм.

Таким образом, показано, что при практически одинаковых условиях окисления из наночастиц алюминия образуются полые сферы, покрытые оболочкой из нанолитов псевдобемита. При окислении водой Al/AlN полых сфер не образуется. Решающую роль при формировании полых сфер играет оксидная пленка, которая с одной стороны является границей полости, образованной за счет растворения алюминиевого ядра. С другой стороны оксидная пленка выступает темплатом для формирования нанолитовой оболочки.

Заключение

Показано, что окисление водой наночастиц Al и Al/AlN можно разделить на 4 стадии по изменению pH реакционной среды. С помощью анализа промежуточных продуктов, реакции Al и Al/AlN с водой методом

просвечивающей электронной микроскопии показан процесс эволюции образующихся наноструктур псевдобемита. Методом ПЭМ и ПЭМ-ЭДС показано, что при окислении наночастиц Al водой образуются полые сферы с оболочкой из нанолитов псевдобемита. Также установлено, что продуктами окисления наночастиц Al/AlN в аналогичных условиях являются агломераты AlOOH без полостей. Образование полых сфер при окислении алюминиевых наночастиц обусловлено наличием более толстой оксидной пленки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 14-23-00096).

Список литературы

1. Abdullah M. Enhancement of properties of Zirconia-Based ceramic composites by controlling the characteristics of reinforcement species: thesis submitted for Ph.D. – Islamabad. 2012. – P. 50–65.
2. Cai W., Yu J., Cheng B., Su B., Jaroniec M. J. Phys. Chem. – 2009. – V. 113. – P. 14739–14746.
3. Jing W., Jun S., Bing X. Effect of precursors on the morphology of hydroxyl aluminum prepared by hydrothermal treatment // Advanced Materials Research. – 2011. – V. 308–310. – P. 542–547.
4. Lerner M.I., Glazkova E. A., Psakhie S.G., Tikhonov V.I., Tyutrin I.I. AIP Proceedings. – 2014. – V. 1623. – P. 339–342.
5. Luo Y.S., Li S.Q., Ren Q.F., Liu J.P., Xing L.L., Wang Y., et al. Facile synthesis of flowerlike Cu₂O nanoarchitectures by a solution phase route // Cryst. Growth. Des. – 2007. – V. 7:1. – P. 87–92.
6. Mohamad N., Mughtar A., Ghazali M.J., Mohd D.H., Azhari C.H. European Journal of Scientific Research. – 2008. – V. 24, № 4. – P. 538–547.
7. Sarathi R., Sankar B., Chakravarthy S.R. Influence of nano aluminium powder produced by wire explosion process at different ambience on hydrogen generation // Journal of Electrical Engineering-Elektrotechnicky Casopis. – 2010. – V. 61(4). – P. 215–221.
8. Xue G., Huang X., Zhao N., Xiao F., Wei W. The royal Society of chemistry. – 2015. – V. 5. – P. 13385–13391.
9. Zhang J., Liu S., Lin J., Song H., Luo J., Elssfah E.M., Ammar E., Huang Y., Ding X., Gao J., Qi S., Tang C. J. Phys. Chem. B. – 2006. – V. 110:29. – P. 14249–14252.

УДК 54.01

**ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕТЕРОПЕРЕХОДОВ
CUINGASE₂-CDZN(SN)S, ОСАЖДЕННЫХ ИЗ РАСТВОРА**

Джафаров М.А., Насиров Е.Ф., Джахангирова С.А.

Бакинский государственный университет, Баку, e-mail: maarif.jafarov@mail.ru

Абстракт – созданы и исследованы некоторые свойства пленочных фотоэлементов с ГП CuInGaSe₂-CdZn(Sn)S, полученных методом осаждения из раствора в едином технологическом цикле. Проведенные исследования подтвердили предположение о сильной зависимости состава и свойств пленок CdZn(Sn)S от условий осаждения. Установлено, что для получения пленочных фотоэлементов с ГП CuInGaSe₂-CdZn(Sn)S необходим выбор стабильного раствора и дополнительный отжиг в атмосфере.

Ключевые слова: химическое осаждение, пленки CdZn(Sn)S, гетеропереходы, фотоэлементы

**PHOTOELECTRIC PROPERTIES OF CUINGASE₂-CDZN(SN)S
HETEROJUNCTIONS, PRECIPITATION FROM SOLUTION**

Jafarov M.A., Nasirov E.F., Jahangirova S.A.

Baku State University, Baku, e-mail: maarif.jafarov@mail.ru

Abstract – created and investigated some properties of thin film solar cells with CuInGaSe₂-CdZn(Sn)S heterojunction, obtained by precipitation from solution in a single technological cycle. Studies have confirmed the strong dependence of the composition and properties of the CdZn(Sn)S films, on the conditions of deposition. It was found that for film solar cells with CuInGaSe₂-CdZn(Sn)S heterojunction necessary to choose a stable solution and optional annealing atmosphere.

Keywords: chemical deposition, CdZn(Sn)S thin film, heterojunction, photo cells

В последние годы возобновились интенсивные исследования ГП CuInGaSe₂-CdZn(Sn)S в связи с возможностью создания на их основе наиболее экономических и относительно эффективных ФП [1–4]. При этом экономичность структуры определяется технологией изготовления и стоимостью исходного материала.

Электрооптические свойства гетеропереходов нашли практическое применение в фототранзисторах и в солнечных элементах. Однако, физика и техника гетеропереходов имеют и большие перспективы в другом важном аспекте. Они очень интересны для создания, исследования и практического применения неидеальных гетеропереходов. Такие структуры образованы поликристаллическими полупроводниками с несовпадающими константами кристаллических решеток, зачастую и различных решеточных симметрий. В неидеальных гетеропереходах наблюдается большой набор различных эффектов и явлений, связанных с различными свойствами полупроводников по обе стороны границы, а также с появлением большого количества электрически активных дефектов на гетерогранице, принимающих участие в токопереносе, поглощении и излучении световых квантов. Перспективность практического применения неидеальных гетеропереходов связана, в первую очередь, с более экономичной технологией создания поликристаллических

гетероструктур в сравнении с монокристаллическими. Одним из направлений в изучении неидеальных гетеропереходов является возможность применения критериев, разработанных в классической фотографической сенситометрии, к преобразователям оптического изображения в электрический сигнал на основе гетероперехода CuInGaSe₂-CdZn(Sn)S.

Система CuInGaSe₂-CdZn(Sn)S представляет собой неидеальный анизотипный гетеропереход, у которого различие постоянных кристаллических решеток контактирующих полупроводников CdZn(Sn)S (5.832 Е) и CuInGaSe₂ (5.601 Е) составляет 4%. Столь значительное различие периодов решеток при формировании гетероперехода создает высокую плотность дислокаций несоответствия на поверхности раздела. Оборванные связи в дислокациях приводят к появлению энергетических уровней в запрещенной зоне, ответственных за захват носителей или за их рекомбинацию и оказывают существенное влияние на перенос заряда через обедненную область. Типичные кривые спектрального распределения тока короткого замыкания гетеропереходов с различным химическим составом базового слоя обусловлены разделением носителей заряда потенциальным барьером.

Нами созданы и исследованы некоторые свойства пленочных фотоэлементов с ГП CuInGaSe₂-CdZn(Sn)S. При этом изучаемые

гетеропереходы получены методом осаждения из раствора в едином технологическом цикле. В результате проведенных исследований было установлено, что оптимальные концентрации составляют для CdCl_2 1,8 г/л, для тиомочевины – 15,2 г/л и для гидроксида натрия – 1,8 г/л, которые позволили получить пленку CdS толщиной 700–900 Å. При исследовании процесса осаждения CdZn(Sn)S в виде тонкой пленки на стеклянную подложку с покрытием пленкой ИТО (indium tin oxide) было установлено, что при однократном нанесении на подложку CdZn(Sn)S из водного раствора, частичным замещением хлорида кадмия хлоридом цинка, покрытие имело вид тонкой ровной пленки с зернами размером 0,5–1 мкм.

Установлено, что с увеличением содержания Zn в базовом материале напряжение холостого хода U_{xx} фотоэлемента увеличивается, а ток короткого замыкания уменьшается. Использование в качестве базового материала твердых растворов CdZn(Sn)S обуславливает увеличение потенциального барьера на контакте. С другой стороны, уменьшается несоответствие постоянных решеток контактирующих материалов, что приводит к уменьшению плотности состояний на границе раздела ГП, а также скорости деградации [9]. Основными причинами относительно низких значений КПД изучаемых фотоэлементов скорее всего, являются невысокое напряжение холостого хода и большое последовательное сопротивление образца, что обусловлено технологическими особенностями

получения гетеропереходов. Ток короткого замыкания $J_{\text{к.з.}}$ при этом ограничивается последовательным сопротивлением, а его зависимость от интенсивности падающего на изучаемую структуру света является суперлинейной, а зависимость $U_{\text{х.х.}}$ от интенсивности света отличается от логарифмической. Поэтому с увеличением интенсивности освещения КПД ГП $\text{CuInGaSe}_2\text{-dZn(Sn)S}$ увеличивается.

Проведенные нами исследования показывают, что физические свойства изучаемых ГП, как продукты реакции замещения, являются функцией свойств базового материала.

При химическом формировании ГП могут возникать микроучастки скопления меди, которые заметно ухудшают свойства ГП. Проведенное при этом ТО приводит к диффузии атомов меди из этих микрообластей и соответственно к разрыву шунтирующих каналов линии. В результате чего шунтирующее сопротивление возрастает, а также повышается коэффициент выпрямления изучаемых структур. Повышение фотоответа в длинноволновой области спектрального распределения фоточувствительности указывает на тот факт, что диффундирующие атомы меди в приповерхностном слое создают уровни акцепторного типа.

На рис. 1 изображена детальная зонная диаграмма гетероперехода. Значения основных параметров перехода, использованные в этой диаграмме, были определены экспериментально.

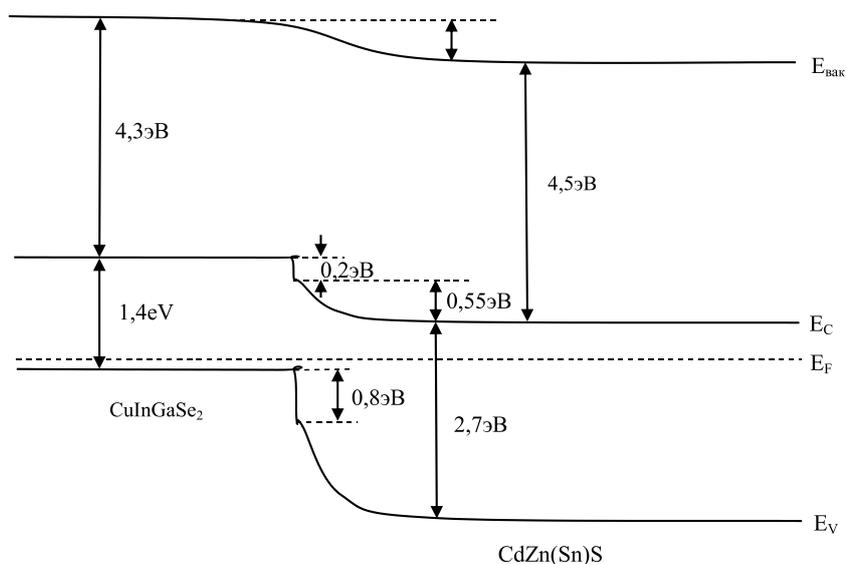


Рис. 1. Энергетическая зонная диаграмма гетероперехода $\text{CuInGaSe}_2\text{-CdZn(Sn)S}$. $X = 0,25$

Установлено, что выпрямляющие свойства, созданных нами на основе CdZn(Sn)S гетеропереходов улучшаются с повышением температуры ТО. Темновые ВАХ обоих типов гетеропереходов в зависимости от режима ТО приведены на рис. 2. Установлено, что для изотипных структур максимальное значение коэффициента выпрямления ($\kappa = 700$) наблюдается после ТО на открытом воздухе при 350 °С в течение $\tau = 7$ мин, а для анизотипных структур ($\kappa = 1300$) при 380 °С в течение $\tau = 8$ мин (рис. 2). При этом значение шунтирующего сопротивления изучаемых гетеропереходов резко уменьшается, что указывает на интенсивную кристаллизацию пленок CdZn(Sn)S и формирование перехода. Однако слишком длительная ТО при относительно высоких температурах ($t > 380$ °С, $\tau > 10$ мин) приводит к уменьшению значения коэффициента выпрямления.

При относительно малых значениях приложенного к структурам внешнего напряжения в пропускном направлении экспоненциальный участок ВАХ гетеропереходов в области напряжений вплоть до 0,6 В достаточно хорошо описывается уравнением

$$I = I_0 \exp(eV / \beta kT)$$

при $\beta = 1,2 \div 3$, что указывает на осуществление генерационно-рекомбинационных процессов в области пространственного заряда. При $U \geq (0,68 \div 0,8)$ В в ВАХ наблюдается линейный участок, что позволяет определить токовое напряжение отсечки (U_d). Установлено, что для гетеропереходов с $x = 0,7$, величина U_d составляет 0,5 В и 0,63 В, соответственно. ВАХ изучаемых структур подчиняется степенному закону $I \sim U^m$ (где $m \geq 2$), что может объясняться инжекцией носителей тока в объем CuInGaSe₂.

В обратном направлении при относительно малых значениях приложенного напряжения ВАХ подчиняется линейному ($I \sim U$), а при более высоких напряжениях – степенному ($I \sim U^m$) закону. В обратном направлении ВАХ изучаемых структур при относительно низких напряжениях ($V \leq 1 \div 3$ В) подчиняется линейному, а при более больших – экспоненциальному закону:

$$I \cong (V_d - V) \exp[A / \sqrt{V_d - V}],$$

где A – некоторая константа, зависящая от параметров полупроводникового материала.

Для обеспечения возможности детального анализа механизма токопрохождения в исследуемых гетеропереходах нами были

измерены также их темновые и световые ВАХ при различных температурах.

Характерные кривые вольтфарадных характеристик (ВФХ) не подвергнутых ТО структур при 300 К приведены на рис. 3. Для изотипных структур CuInGaSe₂/CdZn(Sn)S с $x = 0,6$ прямая, экстраполированная до $C^{-2} = 0$, отсекает от оси напряжения (оси «U») отрезок, равный $\sim 0,49$ В, а для анизотипных структур с тем же составом составляет $\sim 0,62$ В. Для сравнения следует отметить, что в гетеропереходах CuInSe₂/Cd_{1-x}Zn_xS величина U_d , определенная из ВФХ, приблизительно равняется 0,5 В. Наблюдаемый в проведенных нами измерениях рост величины U_d со значением x , может быть объяснен увеличением ширины запрещенной зоны пленок CdZn(Sn)S в зависимости от процентного состава.

Как видно из рис. 3, значения U_d , определенные из ВФХ и ВАХ, не совпадают. По нашему мнению, это может быть объяснено как неоптимальностью технологического режима, так и несоответствием постоянных кристаллической решетки контактирующих материалов (CuInGaSe₂ и твердых растворов CdZn(Sn)S). Дело в том, что электрохимический способ изготовления гетеропереходов приводит к образованию большого количества поверхностных состояний на границе раздела, связанных с неоднородностями поликристаллических пленок. Предполагается, что увеличение процентного содержания цинка в составе пленок, приводит, во-первых, к росту потенциального барьера, и, во-вторых, к уменьшению несоответствия между постоянными решеток контактирующих материалов.

Типичные темновые ВАХ тонкопленочных структур CuInGaSe₂-CdZn(Sn)S до (1) и после (2) ТО при 200 °С представлены на рис. 2. Как видно из этого рисунка, изучаемые гетеропереходы проявляют четкий выпрямляющий характер. При этом пропускное направление структур соответствует отрицательной полярности внешнего напряжения на пленке CdZn(Sn)S. На свежизготовленных (не подвергавшихся ТО) структурах CuInGaSe₂-CdZn(Sn)S отношение прямого и обратного токов ($I_{np}/I_{обр}$) при $T = 300$ К и $U = 1$ В достигает почти 500 и немонотонно уменьшается с увеличением содержания цинка в четырехкомпонентных пленках. Из линейной части полученных ВАХ нами определена величина напряжения отсечки (V_d) для гетеропереходов CuInGaSe₂-CdZn(Sn)S составляет 0,63 В.

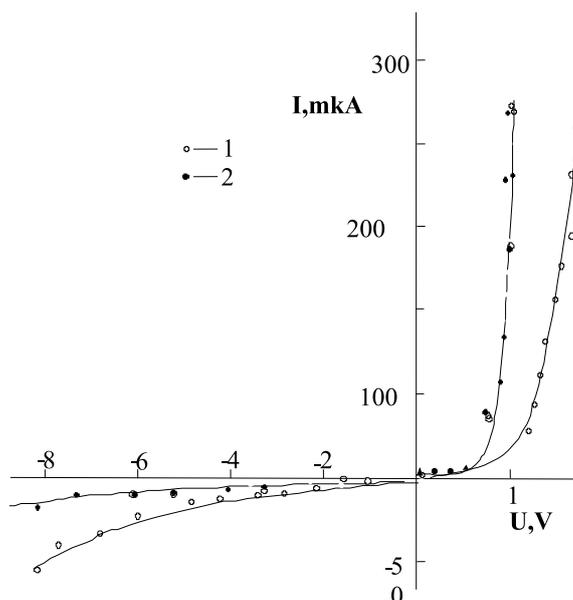


Рис. 2. ВАХ структуры $\text{CuInGaSe}_2\text{-CdZn(Sn)S-In}$ до (1) и после (2) ТО при 200°C $t = 10$ мин

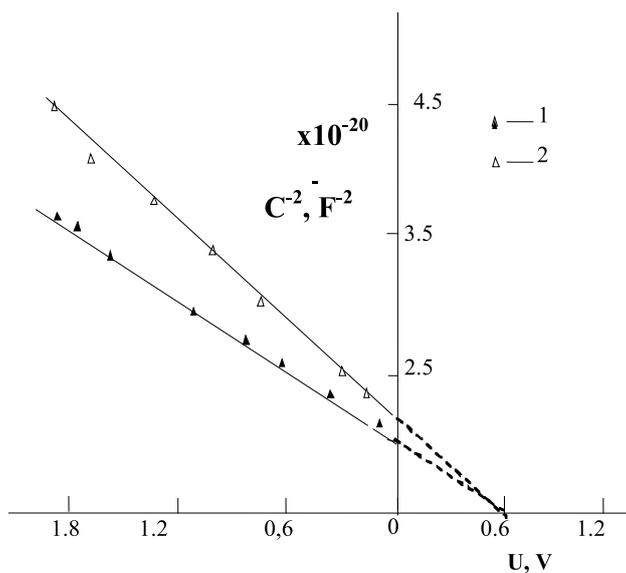


Рис. 3. ВФХ гетероструктуры $\text{CuInGaSe}_2\text{-CdZn(Sn)S}$ при $T = 300\text{ K}$

В результате проведенных нами исследований установлено, что характер и величина прямого тока в указанных гетеропереходах сильно зависят от режима термической обработки. Причем максимальное значение коэффициента выпрямления ($\kappa = 2000$) для структур наблюдается после ТО на воздухе при 360°C в течение $\tau = 10$ мин. Оказалось, что при этом вследствие ТО величина шунтирующего сопротивления гетеропереходов и обратный ток насыщения резко уменьша-

ются, что указывает на интенсивную кристаллизацию пленок и благополучное формирование перехода на гетерогранице. При этом наблюдается значительное увеличение прямого тока. Однако слишком длительная ТО структур при относительно высоких температурах ($t \geq 450^\circ\text{C}$, $\tau \geq 15$ мин) приводит к уменьшению значения коэффициента выпрямления.

В ходе проведенных измерений оказалось, что не подвергнутые ТО гетеропере-

ходы $\text{CuInGaSe}_2\text{-CdZn(Sn)S}$ в области длин волн $0,4\div 1,25$ мкм обладают высокой фоточувствительностью. При освещении этих структур со стороны широкозонного полупроводника (CdZn(Sn)S) возникает фотоэдс, знак которого не изменяется во всей области фоточувствительности. При освещении структур с имитатором солнца $W = 100$ мВт/см² оценены основные параметры ($V_{\text{хх}}$ – напряжение холостого хода и $J_{\text{кз}}$ – тока короткого замыкания) исследуемых структур. Установлено, что значения этих параметров помимо других факторов, зависят также от состава (значения x) пленки.

Типичные кривые спектральной зависимости фототока в структурах, не подвергнутых ТО, при различных содержаниях цинка в растворе представлены на рис. 4.

Как видно из этого рисунка, при освещении изучаемых гетеропереходов со стороны CuInGaSe_2 , на спектре фототока проявляется только один – более интенсивный длинноволновый пик, при $1,125$ мкм, связанный с прямыми межзонными переходами (рис. 4, кривая 1). Освещение гетеропереходов со стороны широкозонного полупроводника (пленки $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$) приводит к изменению картины спектральной зависимости фототока. Более ярко выраженный коротковолновый пик для гетеропереходов с $x = 0$ наблюдается при $0,656$ мкм. С увеличением x наблюдается смещение этого пика в более коротковолновую часть спектра, что связывается нами с изменением ширины запрещенной зоны пленок CdZn(Sn)S .

Для гетеропереходов $\text{CuInGaSe}_2\text{-CdZn(Sn)S}$ этот пик соответствует $0,595$ мкм. Предполагается, что обнаруженное нами при измерениях изменение фоточувствительности гетеропереходов в зависимости от геометрии освещения, прежде всего, связано с особенностями оптического поглощения в контактирующих материалах CuInGaSe_2 и CdZn(Sn)S .

С целью получения фоточувствительных образцов нами в представленной работе изучены также влияния ТО на фотоэлектрические свойства исследуемых гетеропереходов. При этом термическая обработка проводилась на открытом воздухе при $t = 100\div 450$ °С, а длительность процедуры – составляла $\tau = 2\div 12$ мин.

На рис. 5 представлены характерные кривые спектрального распределения фототока в гетеропереходах $\text{CuInGaSe}_2\text{-CdZn(Sn)S}$, полученные нами до и после ТО.

Как видно из этого рисунка, при освещении изучаемых гетеропереходов со стороны

CuInGaSe_2 длинноволновой край фоточувствительности определяется межзонным переходом в них (рис. 5, кривая 1).

Освещение изучаемых гетеропереходов со стороны пленок CdZn(Sn)S приводит к росту полной ширины спектрального распределения тока короткого замыкания (рис. 5, кривая 2). Следует отметить, что наиболее широкополосная фоточувствительность достигается в гетеропереходах, полученных при контакте пленок CdZn(Sn)S , с толщиной $d = 0,5\text{--}1$ мкм. При фотовозбуждении квантами из области собственного поглощения CdZn(Sn)S появляются неравновесные электроны и дырки. Электроны удаляются полем барьера в объем базовой области, а дырки захватываются вблизи границы раздела на ловушки и центры рекомбинации. Наличие таких компенсирующих центров с большой концентрацией фактически является одним из основных свойств рассматриваемого гетероперехода. Поле барьера способствует накоплению дырок в ОПЗ, поэтому даже при незначительном уровне фотовозбуждения распределение положительного заряда в CdZn(Sn)S значительно изменяется, что приводит к росту емкости перехода. Кроме того, распределение энергии электрона от координаты изменяется с квадратичного на экспоненциальное. При этом резко возрастает напряженность электрического поля у границы раздела гетероперехода.

На кривых спектрального распределения фоточувствительности ГП $\text{CuInGaSe}_2\text{-CdZn(Sn)S}$ наблюдаются пики при $\lambda_m = 0,48\text{--}0,49$ мкм и при $\lambda_m = 0,62\text{--}0,65$ мкм. Фотоответ в длинноволновой области спектра объясняется наличием высокоомного слоя на границе приповерхностной области пленок CdZn(Sn)S . В частности, предполагается, что пик при $\lambda_m = 0,65$ мкм обусловлен возбуждением уровня меди в высокоомном слое. Пики на кривых спектрального распределения фоточувствительности при $\lambda_m = 0,5$ мкм и $0,9$ мкм соответствуют границе собственного поглощения в CdZn(Sn)S и примесному поглощению. В работе [10] высказано предположение о том, что примесная фото э.д.с. обусловлена S и Cu центрами, а также вакансиями серы в ZnS. Показано, что при комнатной температуре преобладающим механизмом генерации дырок является одноступенчатый оптический переход. Таким образом, для возникновения заметной примесной фото э.д.с. в CdZn(Sn)S необходимо, чтобы на примесных центрах была достаточная концентрация дырок.

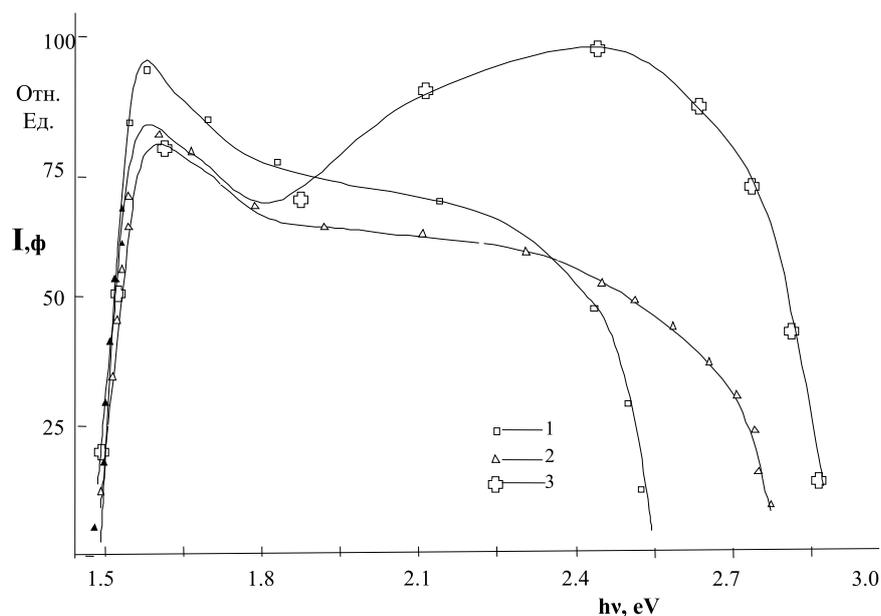


Рис. 4. Спектр фототока гетероструктуры $\text{CuInGaSe}_2\text{-CdZn(Sn)S}$ при $T = 300\text{ K}$, $x = 1-0,1, 2-0,3, 3-0,5$

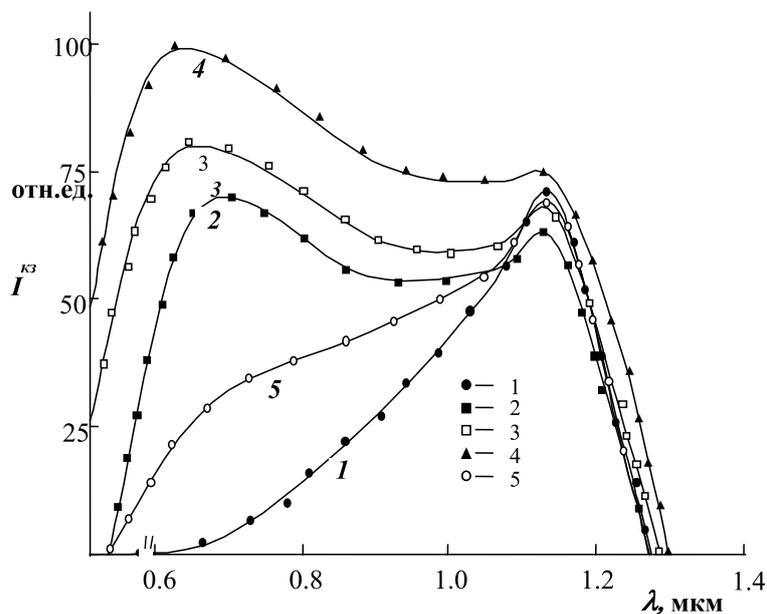


Рис. 5. Спектр фототока гетероструктуры $\text{CuInGaSe}_2\text{-CdZn(Sn)S}$ при $T = 300\text{ K}$, $x = 1-0,1, 2-0,3, 3-0,5$

Нами исследована также зависимость характера спектрального распределения фототока от режима получения ГП $\text{CuInGaSe}_2\text{-CdZn(Sn)S}$. Как известно, чувствительность фотоэлементов за краем собственного поглощения широкозонно-

го материала может быть связана с примесным поглощением света в CdZn(Sn)S , а также с генерацией фотоносителей в CuInGaSe_2 . Поэтому исследованы особенности спектрального распределения тока ГП $\text{CuInGaSe}_2\text{-CdZn(Sn)S}$ при генера-

ции носителей в CuInGaSe_2 . С увеличением времени обработки наблюдается уменьшение фототока во всей области спектральной чувствительности, преимущественным уменьшением фототока в длинноволновой области спектра ($0,6 \div 1,1$ мкм). С увеличением содержания серы в CuInGaSe_2 еще до начала сужения области спектральной чувствительности наблюдается уменьшение абсолютных значений фото э.д.с. С увеличением содержания серы смещается лишь длинноволновый край спектральной чувствительности. Полученные закономерности объясняются увеличением содержания серы в CuInGaSe_2 , приводящим к сильному возрастанию концентрации основных носителей тока. С увеличением содержания галлия поглощение света свободными носителями растет с увеличением длины волны, что приводит к смещению максимума в коротковолновую часть спектра до длин волн, соответствующих началу прямых внутризонных переходов в CdZn(Sn)S .

Проведенные исследования показывают, что при ТО происходят существенные изменения в гетеропереходах CuInGaSe_2 - CdZn(Sn)S . Характер изменения электрических и фотоэлектрических свойств ГП свидетельствует о том, что диффундирующая медь в приповерхностном слое не остается в нейтральном состоянии. Из-за наличия акцепторных уровней меди в приповерхностном слое p-CdZn(Sn)S происходит расширение слоя объемного заряда. Поэтому уменьшается емкость р-п ГП. Повышение фотоответа по всему спектру указывает на тот факт, что за счет компенсации естественных дефектов донорного типа акцепторными уровнями в приповерхностном слое образуется высокоомный слой. Поглощение света становится более эффективным за счет высокоомного слоя, т.е. повышается полезность поглощаемого луча и соби́рание носителей р-п ГП-ом.

При химическом способе получения ГП CuInGaSe_2 - CdZn(Sn)S даже при максимально высоких температурах (до 420 К) преобладают туннельные токи. Изменяя технологию получения ГП, можно значительно уменьшить туннельный ток, во-первых, за счет увеличения потенциального барьера, через который туннелируют электроны, и, во-вторых, за счет уменьшения на границе раздела концентрации центров, участвующих в ТР процессе. В ТР механизме либо электроны туннелируют из зоны проводимости широкозонного материала на узкозонный.

Ток короткого замыкания находится в прямой зависимости от пространственного распределения электрического потенциала, а это распределение непосредственно связано с концентрацией дырок, локализованных на ловушках.

При хранении образца при температуре 80 К считывание информации возможно в течение нескольких дней. Повышение температуры хранения приводит к более быстрому термическому высвобождению дырок в валентную зону. Гетеропереход может находиться в двух различных состояниях. Одно из них – равновесное – обладает низкой чувствительностью к инфракрасному свету и позволяет получить невысокое значение тока $I_{кз}$. Другое состояние – неравновесное – высокочувствительно к ИК-свету и дает значительно большую величину тока короткого замыкания. Переход из равновесного состояния в неравновесное осуществляется при действии коротковолнового света за счет описанного выше эффекта захвата и накопления неравновесных дырок на ловушках в ОПЗ CdZn(Sn)S . Время сохранения структурой неравновесного состояния определяется величиной рекомбинационного барьера и процессом выброса дырок из ловушек, идущего наряду с накоплением. После прекращения действия коротковолновой подсветки выброс начинает играть решающую роль в токопереносе, так как освобождение захваченного заряда обуславливает обратные изменения параметров барьера и переход структуры из неравновесного состояния в равновесное.

Интенсивность выброса определяет величину и скорость этого изменения параметров барьера, а значит и $I_{кз}$. Поэтому представляется важным знать, как именно выброс влияет на параметры барьера после прекращения фотовозбуждения коротковолновым светом, как быстро они изменяются со временем.

Рассмотрим возможности такой системы применительно к регистрации оптического изображения различного спектрального состава. Максимальный эффект достигается при 520 нм (край собственного поглощения сульфида кадмия). Более коротковолновый свет сильно поглощается в базовом слое CdZn(Sn)S , поэтому концентрация фотовозбужденных дырок в окрестностях ОПЗ определяется толщиной слоя CdZn(Sn)S (W) и диффузионной длиной дырок в этом материале L_p . ОПЗ достигают не все фотогенерирован-

ные дырки, что приводит к уменьшению величины коротковолновой стимуляции. Резкий спад чувствительности образца в коротковолновой области спектра обусловлен тем, что генерированные носители заряда рекомбинируют в объеме слоя CdZn(Sn)S, не успевая достигнуть области пространственного заряда, т.е. происходит поглощение света в поверхностном слое CdZn(Sn)S.

Список литературы

1. Abdinov A.Sh., Jafarov M.A., Proc.of SPIE, 6636, (2007), 68–71.
2. Abdinov A.Sh., Jafarov M.A., Nasirov E.F., Proc.SPIE, 4467, (2003), 186–194.
3. Ates A., Saglam M., Güzeldir B., Yıldırım M.A., J. Opt. Adv. Mater. 12, (2010), 1466.
4. Cortes A. et al. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2, № 1–2, (2004), 21.
5. Dumbrava A., Chalcogenide Letters, 6, 9, (2009), 437.
6. Izaki M., Shinagawa T., Mizuno K., Inaba M., Tasaka A., J. Phys. D 40, (2007), 3326.
7. Khomane A.S., Hankare P.P., J. Alloys Comp. 489, (2010), 605.
8. Kokate U.A., Suryavanshi V.B., Bhosale C.H., Sol. Energy 80, (2006), 156.
9. P. Kumar et al. Optical Materials, №27, (2004), 261.
10. Yang R.L., Zhang T., Zhang L., Wang S., Yang Z., Ding B., Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects, 296, 1–3, (2007), 37.

УДК 54.057

ОСОБЕННОСТИ ОКИСЛЕНИЯ ВОДОЙ НАНОЧАСТИЦ АЛЮМИНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Казанцев С.О., Горбиков И.А.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск,
e-mail: kzso@ispms.tsc.ru*

В работе исследована эволюция наноструктур с различной морфологией при окислении наночастиц алюминия в различных условиях. Наночастицы алюминия окисляли водой при нагревании до 60 °С в гидротермальных условиях и во влажном воздухе. С помощью просвечивающей электронной микроскопии изучали промежуточные продукты окисления алюминиевых наночастиц. Показано, что в результате окисления наночастиц алюминия водой преимущественно образуются полые сферы, покрытые оболочкой наноллистов псевдобемита. При гидротермальном окислении образуются нанопластинки бемита. Окисление влажным воздухом приводит к образованию конусовидных частиц байерита.

Ключевые слова: нанопорошок, алюминий, оксид алюминия, псевдобемит, бемит, байерит

PECULIARITY OF THE OXIDATION BY WATER ALUMINUM NANOPARTICLES IN DIFFERENT CONDITIONS

Kazantsev S.O., Gorbikov I.A.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: kzso@ispms.tsc.ru

In work evolution of nanostructures with various morphology at oxidation of nanoparticles of aluminum in various conditions is investigated. Nanoparticles of aluminum oxidized water when heating to 60 °С, in hydrothermal conditions and in damp air. By means of the translucent electronic microscopy studied intermediate products of oxidation of aluminum nanoparticles. It is shown that as a result of oxidation of nanoparticles of aluminum water, mainly forms the hollow spheres covered with a cover of nanosheets of a pseudobemite. At hydrothermal oxidation nanoplates of a bemite are formed. Oxidation by damp air brings to formation of cone-shaped particles of a bayerite.

Keywords: nanopowder, aluminum nanoparticles, nanostructures, pseudoboehmite, boehmite, bayerite

Развитие техники и технологий требует постоянного поиска новых функциональных материалов. Вместе с этим появляются новые методы синтеза материалов с различной морфологией. Известно, что макроскопические свойства материалов зависят не только от их химического состава, но и от размера, формы и структуры полученных материалов [2].

Наноразмерные гидроксиды и оксиды алюминия находят широкое применение в качестве адсорбентов и катализаторов для химических процессов [5] в технологиях очистки воды [9]. В последнее время они находят применение в медицинских приложениях [3]. Одними из основных методов синтеза оксидов и гидроксидов алюминия являются методы осаждения из растворов солей, анодное окисление, гидротермальное окисление, золь-гель технологии с использованием как неорганических, так и органических реагентов, окисление нанопорошка алюминия. В зависимости от способа получения возможно синтезировать оксиды и гидроксиды алюминия различной морфологии и фазового состава: наностержни, нанотрубки, наноусы, нанопроволоки, нанопластинки, нановолокна, наноцветки и др. [1, 2, 4, 6, 8, 10].

Перспективным методом синтеза оксидов и гидроксидов алюминия является окисление нанопорошка алюминия водой [7]. Данный метод не требователен к точному контролю параметров процесса, побочным продуктом реакции является водород. В результате реакции происходит полное окисление исходных наночастиц, с образованием наноллистов псевдобемита. Однако рассмотрение механизма образования продуктов реакции и изучение промежуточных продуктов реакции ранее не исследовалось.

На основании этого целью работы является изучение процесса окисления водой наночастиц Al в различных условиях. Исследовать промежуточные продукты окисления и предположить возможные механизмы окисления наночастиц алюминия.

Материалы и методы исследования

В работе использовали нанопорошок алюминия, полученный электрическим взрывом алюминиевой проволоки в атмосфере аргона и пассивированный кислородом воздуха.

Окисление нанопорошка алюминия водой проводили в термоизолированном сосуде. Навеску порошка массой 1,0 г помещали в 100 мл дистиллированной воды и при постоянном перемешивании нагревали до 55–60 °С. Полное окисление порошка происходило в течение часа. После чего отфильтровывали продукты реакции и сушили при 120 °С в течение 2 часов.

В процессе окисления отбирали пробы промежуточных продуктов окисления и исследовали их с помощью ПЭМ.

Гидротермальное окисление (ГТО) проводили в автоклаве с тefлоновым вкладышем. Для этого навеску порошка Al массой 1,0 г помещали в автоклав, герметизировали и проводили окисление при 200 °С в течение 6 часов. После чего остужали автоклав, фильтровали продукты реакции и сушили при 120 °С в течение 2 часов. Для ПЭМ-исследований промежуточных продуктов проводили серию параллельных опытов с изменением времени протекания процессов окисления в гидротермальных условиях.

Окисление нанопорошка алюминия во влажном воздухе проводили в климатической камере ТХВ-60 при относительной влажности воздуха 80 % и температуре 60 °С. Навески порошка массой по 1,0 г помещали в открытых стеклянных стаканчиках в камеру и проводили окисление в течение 24 часов. Для исследования промежуточных продуктов через определенные промежутки времени образцы извлекались из камеры.

Формо-размерные характеристики полученных образцов исследовали методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) с помощью JEM 2100 (JEOL, Япония). Удельную поверхность и характер пористой структуры определяли по тепловой десорбции азота с помощью анализатора удельной поверхности Сорбтометр М (Катакон, Россия). Фазовый состав продуктов окисления изучали методом рентгенофазового анализа при помощи рентгеновского дифрактометра XRD-6000 на CuK_α – излучении, $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$ (Shimadzu, Japan).

Результаты исследования и их обсуждение

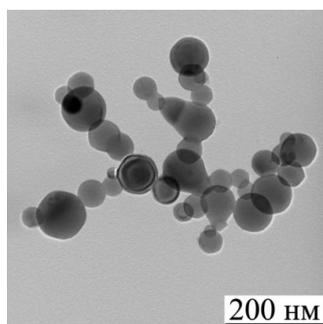
Наночастицы алюминия, используемые в работе, имеют сферическую форму со средним размером частиц 78 нм (рис. 1, а). Поверхность наночастиц алюминия покрыта оксидной пленкой, толщина которой составляет 4–5 нм (рис. 1, б).

Полное окисление водой наночастиц алюминия происходит за 60 минут (отсутствие признаков реакции: изменение рН, выделение водорода). Во влажном воздухе наночастицы полностью окисляются

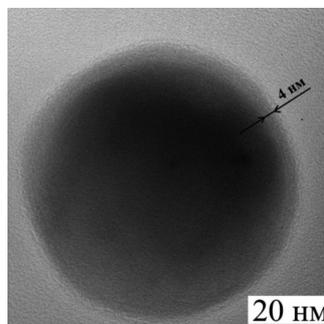
за 24 часа (не происходит увеличение массы продуктов реакции) Полное ГТО наночастиц Al происходит в течение 6 часов (оценивали по изменению морфологии продуктов окисления). В связи с этим для исследования промежуточных продуктов с помощью ПЭМ, отбирали пробы для исследования: через 15, 30, 40, 60 минут при окислении водой; через 0,5, 1, 3 и 6 часов и температуре 200 °С при ГТО; через 3, 6, 12 и 24 часа при окислении наночастиц алюминия влажным воздухом.

На рис. 2 представлены ПЭМ изображения промежуточных продуктов окисления нанопорошка алюминия в различных условиях. При окислении нанопорошка алюминия в воде и влажном воздухе на начальной стадии образуются идентичные продукты окисления (рис. 2, а, д). Вероятнее всего, на данном этапе происходит гидратация поверхностной оксидной пленки, диффузия реагента через оксидную пленку и формирование на поверхности аморфного оксида алюминия.

При дальнейшем окислении в воде на поверхности оксидной пленки происходит формирование наноллистов оксигидроксида алюминия размером до 50 нм и толщиной от 5 до 8 нм (рис. 2, б). По мере дальнейшего окисления происходит растворение алюминиевого ядра с образованием полости, ограниченной оксидной пленкой (рис. 2, в). При этом происходит диффузия продуктов реакции на поверхность оксидной пленки и увеличение размеров наноллистов до 100–250 нм. По окончании реакции происходит образование полых сфер, покрытых пористой оболочкой, состоящей из смятых наноллистов с планарным размером до 300 нм и толщиной 5–8 нм (рис. 2, г). Диаметр образовавшихся полостей соответствует диаметру прореагировавших частиц алюминия.



а



б

Рис. 1. ПЭМ-изображения нанопорошка (а) и частицы, покрытой оксидной пленкой (б)

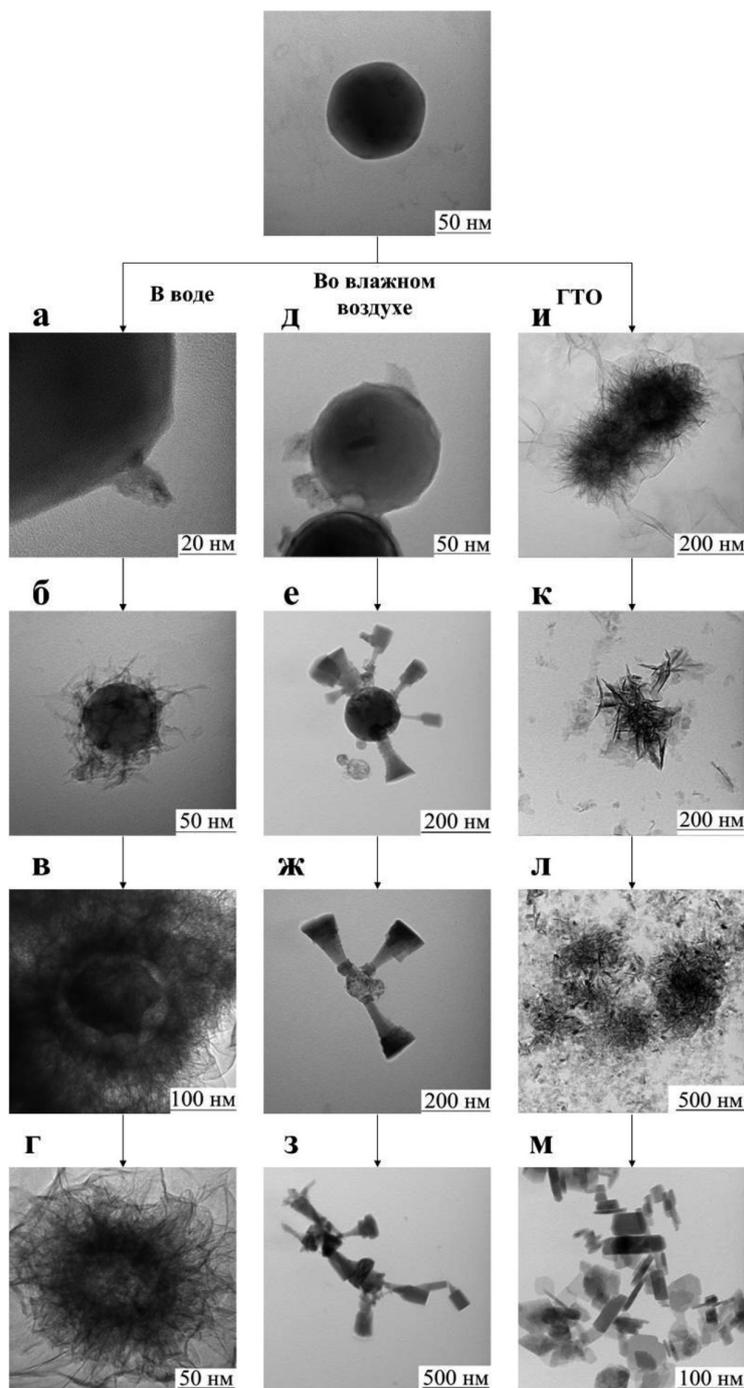


Рис. 2. Промежуточные продукты окисления в воде через: а – 15 мин; б – 30 мин; в – 40 мин; г – 60 мин; во влажном воздухе через: д – 3 ч; е – 6 ч; ж – 12 ч; з – 24 ч; в ГТО: и – 0,5 ч; к – 1 ч; л – 3 ч; м – 6 ч

При окислении алюминиевых наночастиц во влажном воздухе происходит формирование плотных конусовидных структур размером 100–500 нм (рис. 2, е–з), которые увеличиваются в процессе окисления, а исходные частицы уменьшаются до полного исчезновения.

Различия в процессах окисления наночастиц алюминия водой и влажным воздухом можно объяснить тем, что при окислении водой, в избытке реагента, происходит растворение алюминия с образованием аквагидрокомплексов. Избыток воды насыщает координационное

число алюминия в составе аквагидро-комплексов, что приводит к образованию димеров, объединенных в цепи, которые и формируют наноллисты.

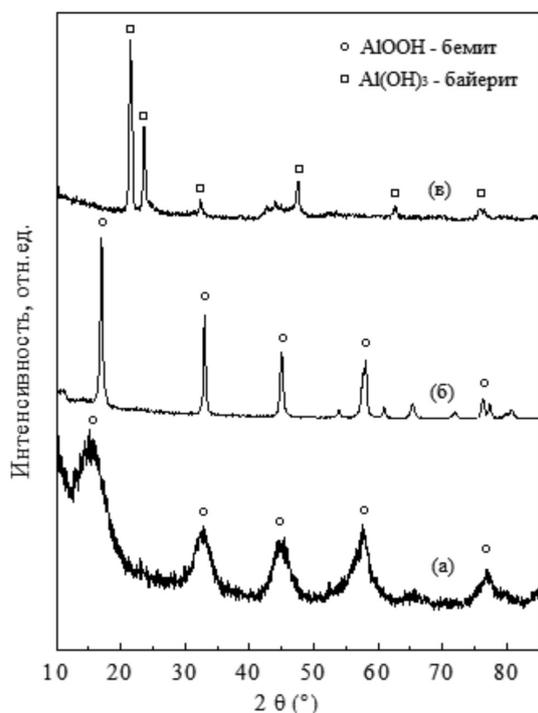


Рис 3. РФА образцов, полученных окислением в воде (а), старением в ГТО (б) и окислением влажным воздухом (в)

Во влажном воздухе скорость реакции значительно меньше, что объясняется низкой скоростью подвода реагента и его недостатком. Рост конусовидных частиц происходит на определенных поверхностных центрах, вероятно, образованных за счет дефектов оксидной пленки.

При гидротермальном окислении наночастиц алюминия (рис. 2, и–л) через 30 минут реакции синтезированные наноструктуры идентичны полым сферам, образовавшимся в воде при 60 °С через 60 минут. При дальнейшей гидротермальной обработке происходит разрушение оболочки полых сферы с образованием нанопластинок размером 40–100 нм и толщиной 4–15 нм (рис. 2, м). Решающим фактором

в образовании продуктов ГТО, вероятнее всего, является давление паров воды.

По данным рентгенофазового анализа, продукт окисления наночастиц в воде (рис. 3, а) характеризуется дифракционными максимумами, соответствующими кристаллической фазе бемита, однако линии уширены, что связано с малым размером областей когерентного рассеивания; наличием микронапряжений, возникающих в кристаллической решётке, и наличием межслоевой воды. Такие особенности характерны для фазы псевдобемита. При ГТО наночастиц алюминия, образуются хорошо окристаллизованные частицы бемита (рис. 3, б). Во влажном воздухе происходит образование бayerита (рис. 3, в).

Таким образом, показано, что при окислении наночастиц алюминия в зависимости от условий синтеза можно синтезировать наноструктурные частицы с различной морфологией и структурно-фазовыми характеристиками. Значительные отличия при формировании наноструктур из наночастиц алюминия наблюдаются при окислении в воде и во влажном воздухе.

В таблице представлены некоторые физико-химические характеристики синтезированных наноструктур.

Заключение

В работе исследована эволюция наноструктурных частиц при окислении алюминиевых наночастиц в различных условиях. Показано, что окисление наночастиц в воде приводит к образованию полых сфер, ограниченных оксидной пленкой и покрытых наноллистами псевдобемита. При окислении наночастиц алюминия влажным воздухом происходит формирование конусовидных частиц бayerита. Рост конусовидных частиц осуществляется на зародышах, расположенных на оксидной пленке, путем уменьшения первоначальных частиц до их полного исчезновения. При ГТО наночастиц алюминия вначале образуются полые сферы, покрытые оболочкой из наноллистов, далее происходит разрушение полых сфер с образованием нанопластинок бемита. Главным фактором, приводящим к образованию нанопластинок, является давление паров воды.

Характеристики полученных образцов

Образец	Удельная поверхность, м ² /г	Дзета-потенциал, мВ	Брутто-формула
Агломераты наноллистов	285	+ 30,3	Al ₂ O ₃ ×1,9H ₂ O
Нанопластины	198	+ 33,1	Al ₂ O ₃ ×1,5 H ₂ O
Конусовидные частицы	12	+ 33,0	Al ₂ O ₃ ×3H ₂ O

Все процессы окисления нанопорошка алюминия, рассмотренные в настоящей работе, могут быть использованы для получения наноструктур на основе оксигидроксидов алюминия с заданными характеристиками.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 14-23-00096).

Список литературы

1. Bao-hong Hao, Ke-ming Fang, Lan Xiang, Qiang Liu. Int. J. Miner. Metall. Mater. – 2010. – Vol. 17. № 3. – P. 376–379.
2. Defriend K.A., Barron A.R. A flexible route to high strength α -alumina and aluminate spheres. // Journal of Materials Science 38. – 2003. – P. 2673–2678.
3. Lerner M.I., E. Glazkova A., Psakhie S.G., Tikhonov V.I., Tyutrin I.I. AIP Proceedings 1623. – 2014. – P. 339–342.
4. Li J., Li W., Nai X., Bian S., Liu X., Wei M. J. Mater. Sci 45. – 2010. – P. 177–181.
5. Liu S.M., Zhang W.D., Liu Z.L., Liu L.H. Applied Catalysis A: General 287. – 2005. – P. 108–115.
6. Panasyuk G.P., Belan V.N., Voroshilov I.L., Kozerozhets I.V., Luchkov I.V., Kondakov D.F., Demina L.I. Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2013. – Vol. 47. № 4. – P. 415–421.
7. Svarovskaya N.V., Bakina O.V., Glazkova E.A., Lerner M.I., Psakh'e S.G. Russian Journal of Physical Chemistry. – 2010. – Vol 84. № 9. – P. 1566–1569.
8. Teoh G.L., Liew K.Y., Wan A.K. Mahmood . Synthesis and characterization of sol-gel alumina nanofibers // J Sol-Gel Technol. – 2007. – № 44. – P. 176–186.
9. Yamani J.S., Lounsbury A.W., Zimmerman J.B. Adsorption of selenite and selenate by nanocrystalline aluminum oxide, neat and impregnated in chitosan beads // Water Research 50. – 2014. – P. 373–381.
10. Yang L., Yin S., Sato T. Synthesis of Morphology Controller Aluminum Oxide by hydrothermal Reaction // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 18. – 2011. – P. 1–5.

УДК 541.8

ПАРАМЕТРЫ АКТИВАЦИИ ВЯЗКОГО ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ, ТЯЖЕЛОЙ ВОДЫ И СВЕРХТЯЖЕЛОЙ ВОДЫ

Масимов Э.А., Пашаев Б.Г., Гасанов Г.Ш., Гасанов Н.Г.

*Бакинский государственный университет, Баку,
e-mail: masimovspectr@rambler.ru, p.g.bakhtiyar@gmail.com*

В данной работе были исследованы характеристики воды (H_2O), тяжелой воды (D_2O) и сверхтяжелой воды (T_2O) и произведены теоретические расчеты параметров активации энергии Гиббса (ΔG_η^\ddagger) вязкого течения, параметры активации энтальпии (ΔH_η^\ddagger) вязкого течения и параметры активации энтропии (ΔS_η^\ddagger) вязкого течения при нормальном атмосферном давлении и в диапазоне температур 273,15–373,15 К. Эти расчеты были произведены при различных значениях динамической вязкости и при различных значениях плотности. Было установлено, что при увеличении температуры параметры энергии Гиббса ΔG_η^\ddagger , энтальпии ΔH_η^\ddagger и энтропии ΔS_η^\ddagger снижаются, однако при произвольно выбранной температуре наблюдается следующее соотношение параметров $\Delta G_\eta^\ddagger(T_2O) > \Delta G_\eta^\ddagger(D_2O) > \Delta G_\eta^\ddagger(H_2O)$, $\Delta H_\eta^\ddagger(T_2O) > \Delta H_\eta^\ddagger(D_2O) > \Delta H_\eta^\ddagger(H_2O)$, $\Delta S_\eta^\ddagger(T_2O) > \Delta S_\eta^\ddagger(D_2O) > \Delta S_\eta^\ddagger(H_2O)$. Это позволяет прийти к следующему умозаключению: при произвольно установленной температуре тяжелая вода становится более структурированной в сравнении с обычной водой, а сверхтяжелая вода становится более структурированной в сравнении с тяжелой водой.

Ключевые слова: вода, тяжелая вода, сверхтяжелая вода, вязкость, параметры активации вязкого течения

ACTIVATION PARAMETERS OF VISCOUS FLOW OF WATER, HEAVY WATER AND EXTRA HEAVY TRITIATED WATER

Masimov E.A., Pashayev B.G., Gasanov G.S., Gasanov N.G.

*Baku State University, Baku, e-mail: masimovspectr@rambler.ru,
p.g.bakhtiyar@gmail.com*

In this paper, we have investigated the characteristics of water (H_2O), heavy water (D_2O) and extra heavy tritiated water (T_2O) and made theoretical calculations of activation parameters of Gibbs energy of viscous flow (ΔG_η^\ddagger), enthalpy of viscous flow (ΔH_η^\ddagger) and activation parameters of entropy of viscous flow (ΔS_η^\ddagger) at normal atmospheric pressure and in the temperature range 273,15–373,15 K. These calculations were made for different values of the dynamic viscosity and density. It has been found that when increasing the temperature the values of Gibbs free energy ΔG_η^\ddagger , enthalpy ΔH_η^\ddagger and entropy ΔS_η^\ddagger are tend to reduce, however, at any chosen temperature the following relationship between those parameters were observed $\Delta G_\eta^\ddagger(T_2O) > \Delta G_\eta^\ddagger(D_2O) > \Delta G_\eta^\ddagger(H_2O)$, $\Delta H_\eta^\ddagger(T_2O) > \Delta H_\eta^\ddagger(D_2O) > \Delta H_\eta^\ddagger(H_2O)$, $\Delta S_\eta^\ddagger(T_2O) > \Delta S_\eta^\ddagger(D_2O) > \Delta S_\eta^\ddagger(H_2O)$. This allows to come to the following conclusion that at the given temperature heavy water becomes more structured in comparison with conventional water, and tritiated water becomes more structured in comparison with heavy water.

Keywords: water, heavy water, extra heavy tritiated water, viscosity, activation parameters of viscous flow

Вода, используемая живыми организмами, а также человеком – это обычная вода (H_2O). Тяжелая (D_2O) и сверхтяжелая (T_2O) воды вредны для живых организмов. Тяжелая вода замедляет биологические процессы и губительно действует на живую клетку. Различие в физико-химических свойствах различных вод, по-видимому, связано с их структурой.

Целью данной работы является сравнение структуры этих вод (H_2O , D_2O , T_2O). С этой целью на основе данных (таблица [2, 5, 6, 7, 8, 10]) динамической вязкости и плотности обычной (H_2O), тяжелой (D_2O), и сверхтяжелой (T_2O) воды в интервале температур 273,15–373,15 К определены энергия активации Гиббса вязкого течения (ΔG_η^\ddagger), энергия активации энтальпии вязкого течения (ΔH_η^\ddagger), энергия активации энтропии вязкого течения (ΔS_η^\ddagger), и на основе сравнения этих параметров при данной тем-

пературе проанализированы структурные особенности каждой воды.

Материалы и методы исследования

Объекты исследования. Объектами исследования являлись вода (H_2O), тяжелая вода (D_2O) и сверхтяжелая вода (T_2O) при различных температурах.

Температурная зависимость динамической вязкости и плотности обычной (H_2O), тяжелой (D_2O), и сверхтяжелой (T_2O) воды в интервале температур 273,15 – 373,15 К дана в таблице [2, 5, 6, 7, 8, 10].

Из таблицы [2, 5, 6, 7, 8, 10] видно, что при данной температуре значения динамической вязкости и плотности тяжелой воды (D_2O) больше обычной (H_2O), а сверхтяжелой воды (T_2O) больше тяжелой (D_2O).

Результаты исследования и их обсуждение

Активационные параметры вязкого течения (ΔG_η^\ddagger , ΔH_η^\ddagger , ΔS_η^\ddagger) вычислены следующим образом:

а) вычисление энергии активации Гиббса (ΔG_η^\ddagger) вязкого течения.

Динамическая вязкость и плотность при разных температурах и при нормальном атмосферном давлении для обычной воды (H_2O), тяжелой воды (D_2O) и сверхтяжелой воды (T_2O)

T, К	η , мПа·с			ρ , кг/м ³		
	H_2O	D_2O	T_2O	H_2O	D_2O	T_2O
273,15	1,7921	2,4000	2,770	999,843	1104,62	1212,5
278,15	1,5193	1,9880	2,270	999,967	1105,58	1214,2
283,15	1,3073	1,6790	1,900	999,703	1105,95	1214,8
288,15	1,1383	1,4400	1,620	999,103	1105,83	1215,0
293,15	1,0020	1,2510	1,400	998,207	1105,34	1214,6
298,15	0,8902	1,1000	1,220	997,048	1104,48	1213,7
303,15	0,7973	0,9759	1,080	995,650	1103,27	1212,5
308,15	0,7191	0,8733	0,957	994,035	1101,69	1210,9
313,15	0,6527	0,7872	0,859	992,219	1099,99	1209,0
318,15	0,5961	0,7143	0,776	990,216	1097,94	1206,8
323,15	0,5471	0,6519	0,706	988,039	1095,65	1204,4
328,15	0,5044	0,5981	0,645	985,698	1093,14	1201,8
333,15	0,4670	0,5513	0,592	983,202	1090,51	1198,8
338,15	0,4339	0,5104	0,547	980,558	1087,67	1195,5
343,15	0,4046	0,4744	0,506	977,773	1084,72	1192,3
348,15	0,3785	0,4425	0,471	974,852	1081,43	1188,7
353,15	0,3551	0,4141	0,440	971,801	1078,17	1185,1
358,15	0,3341	0,3887	0,412	968,623	1074,69	1181,4
363,15	0,3150	0,3658	0,386	965,322	1071,01	1177,4
368,15	0,2978	0,3452	0,364	961,902	1067,24	1173,2
373,15	0,2821	0,3266	0,343	958,365	1063,38	1169,0

На основе теории Эйринга [1] динамическая вязкость (η) определяется следующим образом:

$$\eta = \eta_0 \exp\left(\frac{\Delta G_{\eta}^{\ddagger}}{RT}\right), \quad (1)$$

где

$$\eta_0 = \frac{N_A h \rho}{M}. \quad (2)$$

В выражениях (1) и (2) ρ – плотность жидкости, R – универсальная газовая постоянная, N_A – число Авогадро, h – постоянная Планка, M – молярная масса жидкости. По экспериментально определенным зависимостям η и ρ от температуры, используя выражение

$$\Delta G_{\eta}^{\ddagger} = RT \ln \frac{\eta}{\eta_0}, \quad (3)$$

находили температурную зависимость свободной энергии Гиббса;

б) вычисление энтальпии активации ($\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$) вязкого течения.

Учитывая выражение (3) в термодинамическом соотношении

$$\Delta G_{\eta}^{\ddagger} = \Delta H_{\eta}^{\ddagger} - T \Delta S_{\eta}^{\ddagger}, \quad (4)$$

получим [4]

$$R \ln \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{\Delta H_{\eta}^{\ddagger}}{T} - \Delta S_{\eta}^{\ddagger}. \quad (5)$$

Отметим, что параметры $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$ и $\Delta S_{\eta}^{\ddagger}$ также зависят от температуры. Однако для бесконечно малого температурного интервала эти параметры можно считать постоянными и, взяв частную производную по $\frac{1}{T}$ с обеих сторон выражения (5), получим

$$\Delta H_{\eta}^{\ddagger} = R \frac{\partial \ln \frac{\eta}{\eta_0}}{\partial \left(\frac{1}{T}\right)}. \quad (6)$$

Частное производное $\frac{\partial \ln \frac{\eta}{\eta_0}}{\partial \left(\frac{1}{T}\right)}$, входящее

в уравнение (6), это число. Для нахождения значения этого числа при разных температурах строится зависимость $\ln \frac{\eta}{\eta_0}$ от $\frac{1}{T}$. Затем полученная кривая описывается функцией вида:

$$\ln \frac{\eta}{\eta_0} = a_0 + a_1 \left(\frac{1}{T} \right) + a_2 \left(\frac{1}{T} \right)^2 + a_3 \left(\frac{1}{T} \right)^3. \quad (7)$$

Здесь a_0, a_1, a_2 и a_3 – независимые от температуры параметры, и их значения определяются методом математической оптимизации. С учетом (7) в выражении (6), получим выражение для определения температурной зависимости $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$:

$$\Delta H_{\eta}^{\ddagger} = R \left(a_1 + 2a_2 \left(\frac{1}{T} \right) + 3a_3 \left(\frac{1}{T} \right)^2 \right); \quad (8)$$

в) вычисление энтропии активации ($\Delta S_{\eta}^{\ddagger}$) вязкого течения.

После нахождения температурных зависимостей $\Delta G_{\eta}^{\ddagger}$ и $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$ из формулы (4) находится выражение для определения температурной зависимости энтропии активации вязкого течения [4]:

$$\Delta S_{\eta}^{\ddagger} = \frac{\Delta H_{\eta}^{\ddagger} - \Delta G_{\eta}^{\ddagger}}{T}. \quad (9)$$

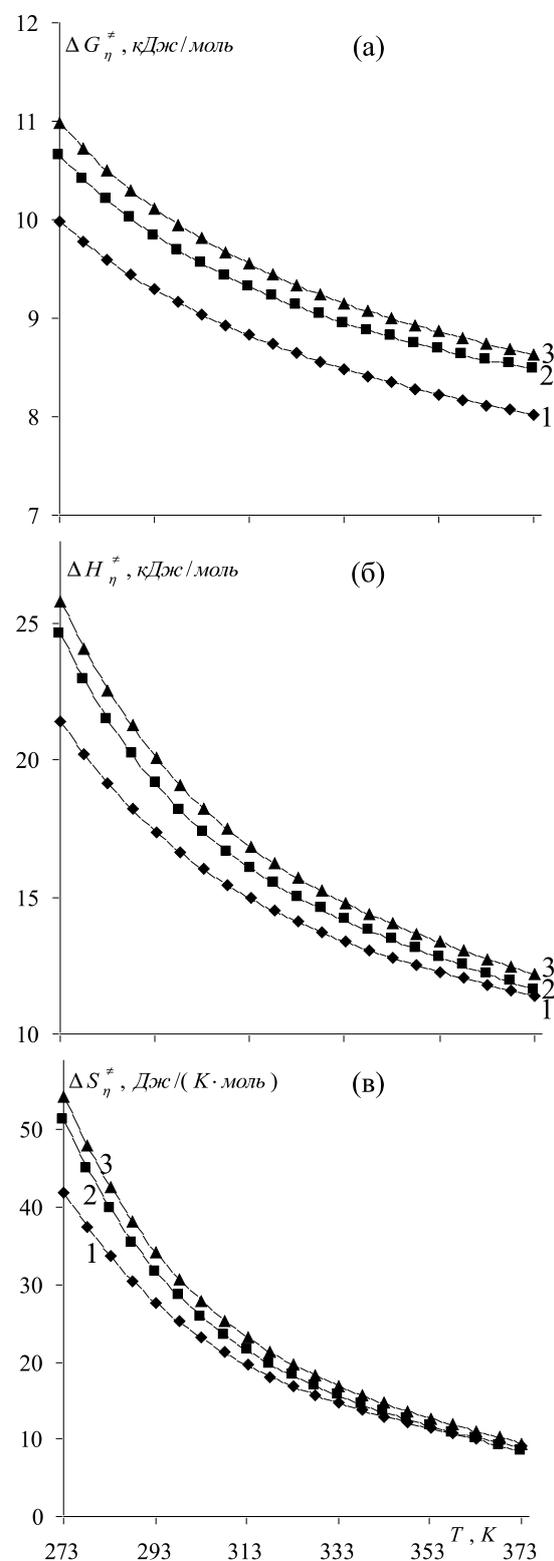
Отметим, что активационные параметры, характеризующие процесс вязкого течения представляют собой разность соответствующих термодинамических параметров активного (G_a, H_a, S_a) и начального (G_n, H_n, S_n) состояний молекул одного моля жидкости [9]:

$$\begin{aligned} \Delta G_{\eta}^{\ddagger} &= G_a - G_n \\ \Delta H_{\eta}^{\ddagger} &= H_a - H_n \\ \Delta S_{\eta}^{\ddagger} &= S_a - S_n \end{aligned} \quad (10)$$

Следует отметить, что энергия активации Гиббса ($\Delta G_{\eta}^{\ddagger}$) вязкого течения – это энергия, требуемая для перехода 1 моля молекул жидкости из начального состояния в текучее состояние при данных давлении и температуре. Энтальпия активации ($\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$) вязкого течения является энергетической характеристикой изменений в растворе [3, 9]. Так, увеличение значения $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$ означает переход системы в более структурированное состояние. Энтропия активации вязкого течения ($\Delta S_{\eta}^{\ddagger}$) характеризует структурные изменения, происходящие в жидкости. Чем больше структурированной будет начальное состояние жидкости, тем меньше станет энтропия начального состояния (S_n) и тем больше будет ее изменение ($S_a - S_n$) при течении и наоборот. Следовательно, для рассматриваемой системы большему значению $\Delta S_{\eta}^{\ddagger}$ соответствует более структурированное состояние системы [9].

Температурные зависимости активационных параметров вязкого течения ($\Delta G_{\eta}^{\ddagger}$,

$\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$, $\Delta S_{\eta}^{\ddagger}$) для обычной (H_2O), тяжелой (D_2O) и сверхтяжелой (T_2O) воды представлены на рисунке.



Температурная зависимость свободной энергии Гиббса (а), энтальпии (б) и энтропии (в) активации вязкого течения. 1 – H_2O , 2 – D_2O , 3 – T_2O

Как видно из рисунков, параметры $\Delta G_{\eta}^{\ddagger}$, $\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$ и $\Delta S_{\eta}^{\ddagger}$ с увеличением температуры уменьшаются. При этом для произвольной температуры справедливо нижеследующее:

$$\Delta G_{\eta}^{\ddagger}(T_2O) > \Delta G_{\eta}^{\ddagger}(D_2O) > \Delta G_{\eta}^{\ddagger}(H_2O)$$

$$\Delta H_{\eta}^{\ddagger}(T_2O) > \Delta H_{\eta}^{\ddagger}(D_2O) > \Delta H_{\eta}^{\ddagger}(H_2O)$$

$$\Delta S_{\eta}^{\ddagger}(T_2O) > \Delta S_{\eta}^{\ddagger}(D_2O) > \Delta S_{\eta}^{\ddagger}(H_2O).$$

Эти соотношения позволяют сделать вывод о том, что при данной температуре тяжелая вода относительно обычной, а сверхтяжелая вода относительно тяжелой является более структурированной.

Список литературы

1. Глестон С., Лейдлер К., Эйринг Г. // Теория абсолютных скоростей. – М.: Изд-во иностр. лит., 1948. – 600 с.

2. Краткий справочник физико-химических величин. Под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой. – Ленинград, 1983. – С. 111.

3. Масимов Э.А., Гасанов Г.Ш., Пашаев Б.Г. // Журнал физ. Химии. – 2013. – Т. 87, № 6. – С. 969–972.

4. Масимов Э.А., Гасанов Г.Ш. // Термодинамика биологических систем. – Баку: Изд-во полиграфия «Леман», 2007. – 418 с.

5. Шишелова Т.И., Бредгауэр А.В., Мухтарова А.А. // Материалы конференций. Успехи современного естествознания. – 2010. – № 10. – С. 66–67.

6. David R. Lide. // CRC Handbook of Chemistry and Physics. CRC Press. – 2005. – P. 6.1–6.181.

7. George S. Kell. // J. Phys. Chem. Ref. Data. – 1977. – Vol. 6, № 4. – P. 1109–1131.

8. Jacobs D.G. // Sources of tritium and its behavior upon release to the environment. Printed in the United States of America USAEC: Division of Technical Information Extension Oak Ridge, Tennessee. – 1968. – 90 p.

9. Masimov E.A., Pashayev B.G., Hasanov H.Sh. // News of Baku University, series of physico-mathematical sciences. – 2010. – № 3. – P. 109–116.

10. Yacob Urquidi. // Theoretical studies on liquid water. Dissertation. Texas Tech University. – 2001. – P. 125.

УДК 681.183

ПОГЛОЩАЮЩИЕ НЕЙТРОНЫ НАНОТРУБЧАТЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Матюхин П.В., Ястребинская А.В., Черкашина Н.И., Коба В.В.

ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,
Белгород, e-mail: karanna1@mail.ru

Среди волокнистых наполнителей наибольший интерес представляют нанотрубчатые наполнители на основе гидросиликатов магния. Разработан состав и технология получения нанотрубчатых наполнителей на основе гидросиликатов магния с повышенной способностью поглощения нейтронного излучения. В зависимости от количества содержащегося в синтезированной фазе бора, продукты гидротермального синтеза обладают различной способностью поглощения тепловых нейтронов. Содержание атомов бора в хризотиле составляет от 9,5 до 10,9% масс. Волокнистые кристаллы получены из шихты, состоящей из исходных компонентов в соотношении $MgO:SiO_2:B_2O_3 = 2,4:0,1:1,5$, при давлении $9,81 \cdot 10^6$ Па и температуре 423 °К. При этой температуре для завершения процесса серпентинизации требуется трое суток, ввиду того что растворимость кремнезёма очень мала. При увеличении температуры реакции до 573 °К (давление $9,81 \cdot 10^6$ Па) реакция завершается за два часа.

Ключевые слова: нанотрубчатый наполнитель, бор, хризотил, получение, свойства

THE NANOTUBULAR FILLERS OF HIGH-TEMPERATURE POLYMERS ABSORBING NEUTRONS

Matiukhin P.V., Yastrebinskaya A.V., Cherkashina N.I., Koba V.V.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, e-mail: karanna1@mail.ru

Among fibrous fillers the greatest interest is represented by nanotubular fillers on the basis of hydrosilicates of magnesium the structure and technology of receiving nanotubular fillers on the basis of magnesium hydrosilicates with the increased ability of absorption of neutron radiation is developed. Depending on the quantity containing in the synthesized pine forest phase, products of hydrothermal synthesis possess various ability of absorption of thermal neutrons. The content of atoms of pine forest in the hrizotil makes from 9,5 up to 10,9% of masses. Fibrous crystals are received from the furnace charge consisting of initial components in the ratio of $MgO:SiO_2:B_2O_3 = 2,4:0,1:1,5$, with a pressure of $9,81 \cdot 10^6$ Pa and temperature of 423 °K. At this temperature for completion of process of a serpentinization it is required three days in view of the fact that solubility of silicon dioxide is very small. At increase in temperature of reaction to 573 °K (pressure of $9,81 \cdot 10^6$ Pa) reaction comes to the end in two hours.

Keywords: the nanotubular filler, pine forest, hrizotit, receiving, properties

В качестве непрерывных армирующих наполнителей наиболее широко используют волокнистые нано-углеродные, графитовые, борные, карбидные, нитридные, оксидные, стеклянные, базальтовые и полимерные химические волокна – раздельно или в любом сочетании одного волокна с другим. Среди волокнистых наполнителей наибольший интерес представляют нанотрубчатые наполнители на основе гидросиликатов магния [1–11].

Анализ существующих проблем в области создания защиты космической ЯЭУ показал, что необходим принципиально новый подход к конструированию биологической защиты, позволяющий ослабить влияние ионизирующего излучения до установленных норм при меньшей массе защиты космической ЯЭУ [12–21].

В этом направлении наиболее перспективна разработка термостойких, высокопрочных радиационно-защитных композиционных материалов на основе термостойкой полимерной матрицы, арми-

рованной нанотрубчатыми волокнами с повышенной способностью поглощения нейтронов. На основе оценки широкого спектра российских и зарубежных литературных источников в качестве волокнистых наполнителей полимерной матрицы предложено использование нанотрубчатых наполнителей на основе гидросиликатов магния системы $MgO - SiO_2 - H_2O$, обладающих повышенными механическими и радиационно-защитными характеристиками по отношению к нейтронному излучению [22–34].

Цель исследования

Разработать состав и технологию получения нанотрубчатых наполнителей на основе гидросиликатов магния с повышенной способностью поглощения нейтронного излучения.

Материалы и методы исследования

Для получения нанотрубчатых наполнителей с повышенной способностью замедления нейтронов при синтезе волокон хризотила использовали добавки с содержанием кристаллизационной воды, в частно-

сти буру ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) и кристаллогидрат двухвалентного железа ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – железный купорос), а для поглощения тепловых нейтронов – борсодержащие соединения, в частности, борную кислоту.

Все образцы синтезированы из шихты, состоящей из смеси магния и кремниевой кислоты с соотношением компонентов 3:2. Исследованные образцы синтезировали при 673°K , давлении водяного пара $9,81 \cdot 10^7$ Па и суточной изотермической выдержке в присутствии различных добавок.

Для получения образца хризотила с содержанием буры брали 10^{-4} кг этой соли.

Результаты исследования и их обсуждение

Кривые ДТА и потери массы (ТГ) синтетических хризотиллов, синтезированных с указанными добавками представлены на рис. 1.

Известно, что бор хорошо поглощает тепловые нейтроны и может изоморфно замещать кремний в минералах. В связи с этим нами синтезирован серпентин с более высокой способностью поглощения нейтронов.

В качестве исходных материалов для синтеза борсодержащего хризотила мы использовали оксид (или гидроксид) магния, кремниевую и борную кислоты. Синтез проводили при молекулярных соотношениях $\text{MgO}:\text{SiO}_2:\text{B}_2\text{O}_3 = 1,5-2:1-0,1:0,1-1,5$ (учитывая требование $\text{MgO}:(\text{SiO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3) = 1,5$, т.е., чтобы отношение окислов соответствовало таковому в серпентине), при температурах $423-573^\circ\text{K}$, давлении

$9,81 \cdot 10^6 - 2,45 \cdot 10^8$ Па и продолжительности изотермической выдержки 2–72 часа. Полученный материал, в отличие от существующих серпентинов, содержит в своём составе бор. Принадлежность синтезированной фазы к серпентину доказывается результатам рентгеновского анализа.

В зависимости от количества содержащегося в синтезированной фазе бора, продукты гидротермального синтеза обладают различной способностью поглощения тепловых нейтронов.

Волокнистые кристаллы получены из шихты, состоящей из исходных компонентов в соотношении $\text{MgO}:\text{SiO}_2:\text{B}_2\text{O}_3 = 2,4:0,1:1,5$, при давлении $9,81 \cdot 10^6$ Па и температуре 423°K . При этой температуре для завершения процесса серпентинизации требуется трое суток, ввиду того что растворимость кремнезёма очень мала. Транспортирующим агентом для кремнезёма в гидротермальных условиях служат как вода, так и пар, следовательно, чем больше воды в реакционном объёме автоклава при данной температуре, тем больше в ней растворено кремнезёма, но увеличение количества воды приводит к увеличению давления. При увеличении температуры реакции до 573°K (давление $9,81 \cdot 10^6$ Па) реакция завершается за два часа. Продукты реакции представлены на рис. 2. Содержание атомов бора в хризотиле составляет от 9,5 до 10,9% масс.

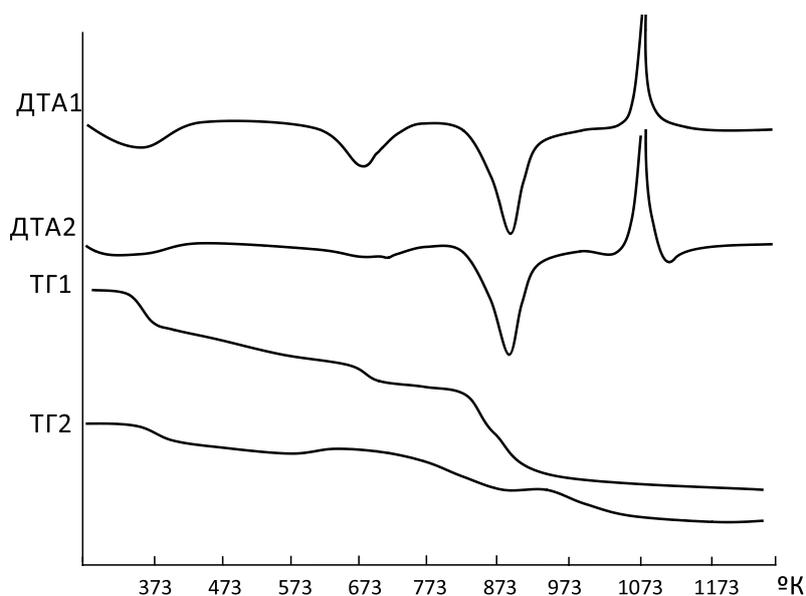


Рис. 1. Кривые ДТА ($T = 653^\circ\text{K}$) и ТГ синтетических хризотиллов, синтезированных с добавкой по отношению к массе шихты: 1–5% $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 2 – $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

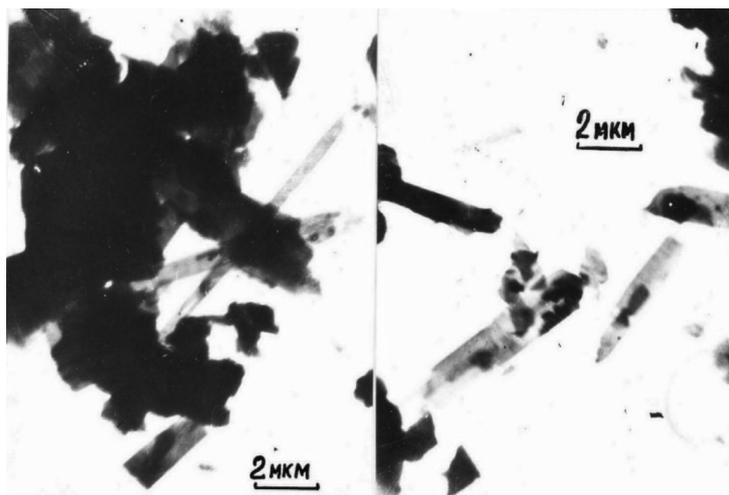


Рис. 2. Серпентин состава $Mg_6(OH)_8SiB_3O_{10}$. Синтез при $573^\circ K$ и $9,81 \cdot 10^6$ Па в течение 2 час

Заключение

Разработан состав и технология получения нанотрубчатых наполнителей на основе гидросиликатов магния с повышенной способностью поглощения нейтронного излучения. В зависимости от количества содержащегося в синтезированной фазе бора, продукты гидротермального синтеза обладают различной способностью поглощения тепловых нейтронов. Содержание атомов бора в хризотиле составляет от 9,5 до 10,9% масс.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект № 14-08-00325.

Список литературы

1. Едаменко О.Д., Ястребинский Р.Н., Соколенко И.В., Ястребинская А.В. Нанонаполненные полимерные композиционные радиационно-защитные материалы авиационно-космического назначения // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 128.
2. Матюхин П.В., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н. Композиционный материал, стойкий к воздействию высокоэнергетических излучений // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 2. – С. 25–27.
3. Матюхин П.В., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Бондаренко Ю.М. Перспективы создания современных высококонструкционных радиационно-защитных металлокомпозиций // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 2. – С. 27–29.
4. Матюхин П.В., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Бондаренко Ю.М. Композиционный материал для радиационной защиты // Патент РФ №2470395, 20.12.2010.
5. Матюхин П.В., Ястребинский Р.Н. Исследование механизмов модифицирования поверхности природных железорудных минералов алкилсиликонатами // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2005. – Т. 48, № 4. – С. 140.
6. Огрель Л.Ю., Ястребинская А.В., Бондаренко Г.Н. Полимеризация эпоксидного связующего в присутствии

добавки полиметилсилоксана // Строительные материалы. – 2005. – № 9. – С. 82–87.

7. Огрель Л.Ю., Ястребинская А.В. Структурообразование и свойства легированных эпоксидных композитов // Строительные материалы. – 2004. – № 8. – С. 48–49.

8. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н. Полимерные радиационно-защитные композиты / Монография. – Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. – 199 с.

9. Павленко В.И., Елифановский И.С., Ястребинский Р.Н., Куприева О.В. Термопластичные конструкционные композиционные материалы для радиационной защиты // Перспективные материалы. – 2010. – № 6. – С. 22–28.

10. Павленко В.И., Едаменко О.Д., Ястребинский Р.Н., Черкашина Н.И. Радиационно-защитный композиционный материал на основе полистирольной матрицы // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 113–116.

11. Павленко В.И., Ястребинская А.В., Павленко З.В., Ястребинский Р.Н. Высокодисперсные органосвинецсиликоновые наполнители полимерных матриц // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2010. – № 2. – С. 99–103.

12. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Ястребинская А.В. Полимерные диэлектрические композиты с эффектом активной защиты // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2009. – № 3. – С. 62–66.

13. Павленко В.И., Липканский В.М., Ястребинский Р.Н. Расчеты процессов прохождения гамма-квантов через полимерный радиационно-защитный композит // Инженерно-физический журнал. – 2004. – Т. 77, № 1. – С. 12–15.

14. Павленко В.И., Елифановский И.С., Ястребинский Р.Н. Радиационно-защитный бетон для биологической защиты ядерных реакторов // Перспективные материалы. – 2006. – № 3. – С. 22.

15. Павленко В.И., Воронов Д.В., Ястребинский Р.Н. Радиационно-защитный тяжелый бетон на основе железорудного минерального сырья // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2007. – № 4. – С. 40–42.

16. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Смоликов А.А., Дегтярев С.В., Воронов Д.В. Радиационно-защитный бетон для биологической защиты ядерных реакторов // Перспективные материалы. – 2006. – № 2. – С. 47–50.

17. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Воронов Д.В. Тяжелый бетон для защиты от ионизирующих излучений // Строительные материалы. – 2007. – № 8. – С. 48–49.

18. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Воронов Д.В. Исследование тяжелого радиационно-защитного бетона после активации быстрыми нейтронами и гамма-излучением // Инженерно-физический журнал. – 2008. – Т. 81, № 4. – С. 661–665.
19. Павленко В.И., Смоликов А.А., Ястребинский Р.Н., Дегтярев С.В., Панкратьев Ю.В., Орлов Ю.В. Радиационно-защитный бетон для АЭС с РБМК на основе железо-серпентинитовых композиций с цементным связующим // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2004. – № 8. – С. 66.
20. Павленко В.И., Куприева О.В., Черкашина Н.И., Ястребинский Р.Н. Дефектность кристаллов модифицированного гидрида титана, подвергнутого термической обработке // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58, № 5. – С. 125–129.
21. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Матюхин П.В., Ястребинская А.В., Куприева О.В., Самойлова Ю.М. Радиационно-защитные транспортные контейнеры отработавшего ядерного топлива на основе высоконаполненной полимерной матрицы и железорудного сырья КМА // В сборнике: Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого РФФИ и Правительством Белгородской области. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 320–330.
22. Соколов И.В., Ястребинский Р.Н., Крайний А.А., Матюхин П.В., Тарасов Д.Г. Моделирование прохождения высокоэнергетических электронов в высоконаполненном полимерном композите // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 6. – С. 145–148.
23. Ястребинская А.В., Огрель Л.Ю. Разработка и применение композиционного материала на основе эпоксидиановой смолы для строительных конструкций и теплоэнергетики // Современные наукоемкие технологии. – 2004. – № 2. – С. 173.
24. Ястребинская А.В., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н. Коррозионно-стойкие полимеркомпозиты на основе эпоксидных и полиэфирных олигомеров для строительства // Перспективы развития строительного комплекса. – 2012. – Т. 1. – С. 243–247.
25. Ястребинский Р.Н., Павленко В.И., Ястребинская А.В., Матюхин П.В. Структурообразование металло-олигомерных водных дисперсий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 2. – С. 121–123.
26. Ястребинский Р.Н., Павленко В.И., Матюхин П.В., Воронов Д.В., Павленко З.В., Самойлова Ю.М. Конструкционные радиационно-защитные композиционные материалы на основе модифицированных железорудных пород КМА // В сборнике: Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого РФФИ и Правительством Белгородской области. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 491–499.
27. Ястребинская А.В., Павленко В.И., Матюхин П.В., Воронов Д.В. Механическая активация полимерных диэлектрических композиционных материалов в непрерывном режиме // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2009. – № 3. – С. 74–77.
28. Ястребинский Р.Н., Павленко В.И., Матюхин П.В., Четвериков Н.А. Композиционный материал для защиты от гамма-излучения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 17–20.
29. Ястребинская А.В. Модифицированный конструкционный стеклопластик на основе эпоксидных олигомеров для строительных изделий: Автореф. дис. канд. техн. наук. / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород. Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2004. – 19 с.
30. Ястребинский Р.Н., Павленко В.И., Бондаренко Г.Г., Ястребинская А.В., Черкашина Н.И. Модифицированные железоокисные системы – эффективные сорбенты радионуклидов // Перспективные материалы. – 2013. – № 5. – С. 39–43.
31. Ястребинский Р.Н., Бондаренко Г.Г., Павленко В.И. Транспортный упаковочный комплект для радиоактивных отходов на основе радиационно-защитной полимерной матрицы / Перспективные материалы. – 2015. – № 6. – С. 25–31.
32. Pavlenko V.I., Yastrebinskii R.N., Kuprieva O.V., Epifanovskii I.S. Thermoplastic constructional composite material for radiation protection // Inorganic Materials: Applied Research. – 2011. – Т. 2, № 2. – P. 136–141.
33. Pavlenko V.I., Yastrebinskii R.N., Lipkanskii V.M. Simulation of the processes of gamma-radiation transport through shielding containers for radioactive waste // Russian Physics Journal. – 2003. – Т. 46, № 10. – P. 1062–1065.
34. Pavlenko V.I., Yastrebinskij R.N., Degtyarev S.V. Modeling of processes of interaction of high-energy radiations with radiation-protective oxide of iron composites // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2005. – Т. 10, № 1–2. – P. 46–51.

УДК 54-76

**РАЗРАБОТКА РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНОГО КОМПОЗИТА
ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ГАММА- ИЗЛУЧЕНИЯ****Соколенко И.В., Ястребинский Р.Н., Матюхин П.В., Иваницкий Д.А.***ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,
Белгород, e-mail: yrndo@mail.ru*

В работе представлены исследования по синтезу радиационно-защитного композита. В качестве связующего материала для радиационно-защитного композита использовали стекломатрицу, а в качестве защитного наполнителя использовали нанотрубчатый хризотил, модифицированный путем введения в структуру нанотрубок вольфрамата свинца $PbWO_4$ в количестве до 30 масс. %. В результате исследований был синтезирован композиционный материал, содержащий в себе 10% нанотрубчатого хризотила, 50% вольфрамата свинца, остальное – стекломатрица со следующими физико-механическими показателями: плотность 6,3 г/см³, предел прочности при сжатии 280 МПа, микротвердость 355 МПа, пористость 0,4%. Анализ всех проведенных результатов показал высокую радиационную стойкость разработанного композита на основе стекломатрицы и нанотрубчатого хризотила, модифицированного путем введения в структуру нанотрубок вольфрамата свинца $PbWO_4$.

Ключевые слова: вольфрамат свинца, стекломатрица, нанотрубчатый хризотил, линейный коэффициент ослабления, радиационная стойкость, радиационная защита

**DEVELOPMENT OF RADIATION PROTECTION COMPOSITE
PROTECTION GAMMA RADIATION****Sokolenko I.V., Yastrebinsky R.N., Matyuhin P.V., Ivanitskyi D.A.***Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, e-mail: yrndo@mail.ru*

The paper presents the research on the synthesis of radiation-protective composite. As a binder for radiation shielding composite steklomatrity used, and as protective filler used chrysotile nanotube modified by introducing into the structure of nanotubes $PbWO_4$ lead tungstate in an amount up to 30 wt.%. As a result, research was synthesized composite material comprising a 10% chrysotile nanotube, 50% lead tungstate, rest – steklomatrity with the following physical-mechanical characteristics: Density 6,3 g / cm³, a compressive strength of 280 MPa and 355 MPa microhardness, porosity of 0,4%. Analysis of the results showed all held high radiation resistance developed based composite steklomatrity and chrysotile nanotube modified by introducing into the structure of nanotubes lead tungstate $PbWO_4$.

Keywords: tungstate of lead, glass matrix, nano tube chrysotile, the linear attenuation coefficient, radiation resistance, radiation protection

В настоящее время широкое использование получили композиционные материалы для защиты от ионизирующего излучения (ИИ). Как известно, для создания защиты от каждого вида ИИ требуется свой подход. Тяжелые элементы хорошо защищают от гамма-излучения, тогда как легкие элементы (водород, бор) лучше использовать для защиты от нейтронного излучения [6–8, 11, 24].

В космосе другая ситуация. Там нужно защищаться от вакуумного ультрафиолета, набегающего потока атомарных частиц, в особенности атомарного кислорода, резкого перепада температур и т.д. Имеется множество работ по повышению устойчивости полимерных композиционных материалов к негативным факторам космоса [3, 4, 10–19].

К настоящему моменту создано много материалов радиационно-защитного назначения. Однако, большинство из них способны защитить только от одного вида ИИ

и имеют ряд других физико-механических и эксплуатационных недостатков [1, 2, 5, 9, 13, 23]. К ним можно отнести малый температурный диапазон использования, невысокую прочность при сжатии и изгибе, повышенную себестоимость.

В некоторых случаях, к примеру, при разработке радиационной защиты для перспективных космических аппаратов, оснащенных ядерными энергетическими установками, требования к защитным материалам особенно высоки [20–22, 25–32]. В случае же проектирования радиационной защиты атомных подводных лодок требования снижаются, но все же следует уделять внимание максимальному снижению объема, занимаемого защитными конструкциями, и повышению температурного интервала их эксплуатации.

Таким образом, разработка радиационно-защитного композита для защиты от гамма-излучения является перспективным направлением.

Цель исследования

Изучить возможность синтеза радиационно-защитного композита для защиты от гамма-излучения.

Материалы и методы исследования

В качестве связующего материала для радиационно-защитного композита была выбрана стекломатрица, химический состав которой представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав стекломатрицы

Содержание, масс. %					
PbO	B ₂ O ₃	SiO ₂	ZnO	PbO ₂	CeO ₂
78,5	13,2	4,2	3,1	0,4	0,6

В качестве защитного наполнителя использовали нанотрубчатый хризотил, модифицированный путем введения в структуру нанотрубок вольфрамата свинца PbWO₄ в количестве до 30 масс.%. Применение данного наполнителя обусловлено сочетанием улучшенных физико-химических и механических свойств гидросиликатных нанотрубок, а также повышением физико-механических показателей, температурно- и радиационной стойкости композита по сравнению с обычным дисперсным наполнителем.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате исследований был синтезирован композиционный материал, содержащий в себе 10% нанотрубчатого хризотила, 50% вольфрамата свинца, остальное – стекломатрица.

Физико-механические характеристики разработанного материала представлены в табл. 2.

Таблица 2

Основные характеристики разработанного композита

№ п/п	Параметр	Значение
1	Плотность, г/см ³	6,3
2	Предел прочности при сжатии, МПа	280
3	Микротвердость HV, МПа	355
4	Пористость, %	0,4
5	Водопоглощение, %	0
6	Температуростойкость, °C	400
7	Термостойкость, °C	> 370

Методом математического моделирования были проведены расчеты линейного коэффициента ослабления гамма-излучения для рассматриваемого состава композита.

Расчеты производились по стандартным методикам в программе MathCad. На рис. 1 представлена зависимость полученного линейного коэффициента ослабления от энергии излучения.

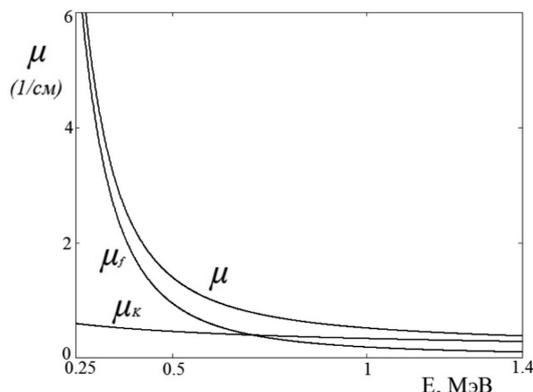


Рис. 1. Кривая зависимости линейного коэффициента ослабления в разработанном композите от энергии излучения

Анализ рис. 1 показывает, что линейный коэффициент ослабления уменьшается при увеличении энергии излучения. Для достоверности разработанной модели по вычислению линейного коэффициента ослабления был экспериментально по интенсивности поглощения без материала и с защитным материалом вычислен линейный коэффициент ослабления. Исследования проводили на специализированном оборудовании Гамма-дефектоскоп «Гаммарид-192/120МД». Использовали источник излучения на основе радионуклида ¹⁹²Ir, эффективная энергия γ-излучения составила 0,4 МэВ. На рис. 2 представлены основные радиационно-защитные характеристики разработанного композита (СХВ 10-50), а также для сравнения железа и свинца.

Анализ линейного коэффициента ослабления по моделированию и расчетного при одной и той же энергии 0,4 МэВ достаточно близки. Погрешность составляет не более 7%. Поэтому можно сказать, что разработанная модель по расчету линейного коэффициента ослабления является достоверной.

Анализ всех проведенных результатов показал высокую радиационную стойкость разработанного композита на основе стекломатрицы и нанотрубчатого хризотила, модифицированного путем введения в структуру нанотрубок вольфрамата свинца PbWO₄.

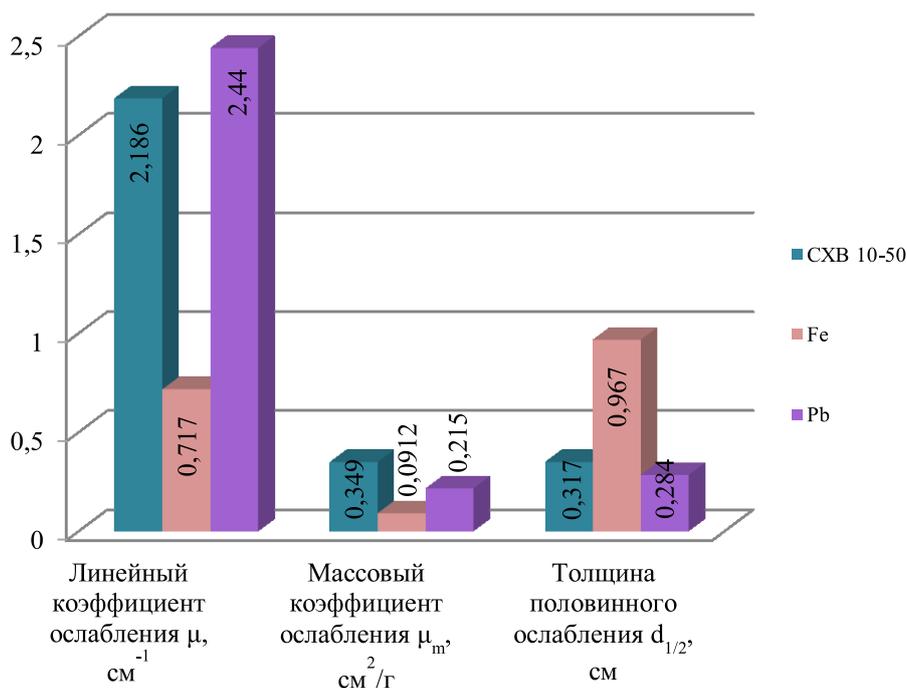


Рис. 2. Основные радиационно-защитные характеристики разработанного композита (CXB 10-50), железа и свинца

Заключение

В работе представлены исследования по синтезу радиационно-защитного композита. В качестве связующего материала для радиационно-защитного композита использовали стекломатрицу, а в качестве защитного наполнителя использовали нанотрубчатый хризотил, модифицированный путем введения в структуру нанотрубок вольфрамата свинца PbWO_4 в количестве до 30 масс. %.

В результате исследований был синтезирован композиционный материал, содержащий в себе 10% нанотрубчатого хризотила, 50% вольфрамата свинца, остальное – стекломатрица со следующими физико-механическими показателями: плотность $6,3 \text{ г/см}^3$, предел прочности при сжатии 280 МПа, микротвердость 355 МПа, пористость 0,4%.

Методом математического моделирования были проведены расчеты линейного коэффициента ослабления гамма-излучения для рассматриваемого состава композита. Анализ линейного коэффициента ослабления по моделированию и расчетного при одной и той же энергии 0,4 МэВ достаточно близки. Погрешность составляет не более 7%. Поэтому можно сказать, что разработанная модель по расчету линейного коэффициента ослабления является достоверной.

Анализ всех проведенных результатов показал высокую радиационную стойкость разработанного композита на основе стекломатрицы и нанотрубчатого хризотила, модифицированного путем введения в структуру нанотрубок вольфрамата свинца PbWO_4 .

Работа выполнена при поддержке проектной части Государственного задания Минобрнауки РФ, проект № 11.2034.2014/К.

Список литературы

1. Матюхин П.В. Жаропрочный радиационно-защитный композиционный материал конструкционного назначения / П.В. Матюхин, В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, Н.И. Черкашина, В.А. Дороганов, Е.И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 10. – С. 32–36.
2. Матюхин П.В. Термостойкие радиационно-защитные композиционные материалы, эксплуатируемые при высоких температурах / П.В. Матюхин, В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, В.А. Дороганов, Н.И. Черкашина, Е.И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 7–8. – С. 23–25.
3. Павленко В.И. Влияние вакуумного ультрафиолета на микро- и наноструктуру поверхности модифицированных полистирольных композитов / В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Перспективные материалы. – 2013. – № 3. – С. 14–19.
4. Павленко В.И. Влияние вакуумного ультрафиолета на поверхностные свойства высоконаполненных композитов / В.И. Павленко, В.Т. Заболотный, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Физика и химия обработки материалов. – 2013. – № 2. – С. 19–24.
5. Павленко В.И. Влияние содержания кремнийорганического наполнителя на физико-механические и поверх-

ностные свойства полимерных композитов / В.И. Павленко, Н.И. Черкашина, В.В. Сухорослова, Ю.М. Бондаренко // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 95.

6. Павленко В.И. Дефектность кристаллов модифицированного гидрида титана, подвергнутого термической обработке / В.И. Павленко, О.В. Куприева, Н.И. Черкашина, Р.Н. Ястребинский // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58. № 5. – С. 125–129.

7. Павленко В.И. Изучение коэффициентов ослабления фотонного и нейтронного пучков при прохождении через гидрид титана / В.И. Павленко, О.Д. Едаменко, Н.И. Черкашина, О.В. Куприева, А.В. Носков // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2015. – № 6. – С. 21.

8. Павленко В.И. Модифицирование поверхности гидрида титана боросиликатом натрия / В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, О.В. Куприева, Р.Н. Ястребинский, Н.И. Черкашина // Перспективные материалы. – 2014. – № 6. – С. 19–24.

9. Павленко В.И. Радиационно-защитный композиционный материал на основе полистирольной матрицы / В.И. Павленко, О.Д. Едаменко, Р.Н. Ястребинский, Н.И. Черкашина // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 113–116.

10. Павленко В.И. Расчет ионизационных и радиационных энергетических потерь быстрых электронов в полистирольном композите / В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, Н.И. Черкашина // Перспективные материалы. – 2015. – № 8. – С. 5–11.

11. Павленко В.И. Повышение эффективности антикоррозионной обработки ядерного энергетического оборудования путем пассивации в алюминийсодержащих растворах / В.И. Павленко, В.В. Прозоров, Л.Л. Лебедев, Ю.И. Слепонец, Н.И. Черкашина // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2013. – Т. 56. № 4. – С. 67–70.

12. Павленко В.И. Экспериментальное и физико-математическое моделирование воздействия набегающего потока атомарного кислорода на высоконаполненные полимерные композиты / В.И. Павленко, Л.С. Новиков, Г.Г. Бондаренко, В.Н. Черник, А.И. Гайдар, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Перспективные материалы. – 2012. – № 4. – С. 92–98.

13. Павленко В.И. Эффективный способ получения термостойкого кристаллического нанопорошка вольфрама свинца для жаростойких радиационно-защитных материалов / В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, В.А. Дороганов, И.В. Соколенко, Н.И. Черкашина, Е.И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 7–8. – С. 32–36.

14. Павленко В.И. Явления электризации диэлектрического полимерного композита под действием потока высокоэнергетических протонов / В.И. Павленко, А.И. Акишин, О.Д. Едаменко, Р.Н. Ястребинский, Д.Г. Тарасов, Н.И. Черкашина // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010. – Т. 12. № 4–3. – С. 677–681.

15. Павленко В.И. Суммарные потери энергии релятивистского электрона при прохождении через полимерный композиционный материал / Павленко В.И., Едаменко О.Д., Черкашина Н.И., Носков А.В. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2014. – № 4. – С. 101–106.

16. Черкашина Н.И. Воздействие вакуумного ультрафиолета и кислородной плазмы на структуру и устойчивость полистирольного композита с органосилоксановым наполнителем: диссертация ... кандидата технических наук. – Белгород, 2013.

17. Черкашина Н.И. Исследование влияния вакуумного ультрафиолета на морфологию поверхности нанонаполненных полимерных композиционных материалов в условиях, приближенных к условиям околоземного космического пространства / Черкашина Н.И., Павленко В.И., Едаменко А.С., Матюхин П.В. // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 130.

18. Черкашина Н.И. Воздействие вакуумного ультрафиолета на полимерные нанокомпозиты // Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения): Материалы Межд. научно-практич. конференции. – 2010. – С. 246–249.

19. Черкашина Н.И. Моделирование воздействия космического излучения на полимерные композиты с применением программного комплекса GEANT4 // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3. – С. 122.

20. Черкашина Н.И. Перспективы создания радиационно-защитных полимерных композитов для космической техники в Белгородской области / Н.И. Черкашина, В.И. Павленко / Белгородская область: прошлое, настоящее, будущее. Материалы областной научно-практической конференции в 3-х частях. – 2011. – С. 192–196.

21. Черкашина Н.И. Разработка наноструктурированных вяжущих на основе местного сырья Белгородской области для штукатурных растворов // В сборнике: Материалы I Международной научно-практической конференции «Проблемы строительного производства и управления недвижимостью». – Кемерово, 2010. – С. 67–70.

22. Черкашина Н.И. Синтез высокодисперсного гидробного наполнителя для полимерных матриц / Н.И. Черкашина, А.А. Карнаухов, А.В. Бурков, В.В. Сухорослова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 6. – С. 156–159.

23. Ястребинский Р.Н. Модифицированные железокислотные системы – эффективные сорбенты радионуклидов / Р.Н. Ястребинский, В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, А.В. Ястребинская, Н.И. Черкашина // Перспективные материалы. – 2013. – № 5. – С. 39–43.

24. Ястребинский Р.Н. Структурно-фазовая характеристика боросиликатного покрытия // Р.Н. Ястребинский, О.В. Куприева, Н.И. Черкашина // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2014. – Т. 57. – № 9. – С. 20–23.

25. Matyukhin P.V. The high-energy radiation effect on the modified iron-containing composite material / P.V. Matyukhin, V.I. Pavlenko, R.N. Yastrebinsky, N.I. Cherkashina // Middle East Journal of Scientific Research. – 2013. – Т. 17. № 9. – P. 1343–1349.

26. Pavlenko V.I. Effect of vacuum ultraviolet on the surface properties of high-filled polymer composites / V.I. Pavlenko, N.I. Cherkashina, O.D. Edamenko, V.T. Zabolotny // Inorganic Materials: Applied Research. – 2014. – Т. 5. № 3. – P. 219–223.

27. Pavlenko V.I. Modification of titanium hydride surface with sodium borosilicate / V.I. Pavlenko, O.V. Kuprieva, R.N. Yastrebinskii, N.I. Cherkashina, G.G. Bondarenko // Inorganic Materials: Applied Research. – 2014. – Т. 5. № 5. – P. 494–497.

28. Pavlenko V.I. Total energy losses of relativistic electrons passing through a polymer composite / V.I. Pavlenko, O.D. Edamenko, N.I. Cherkashina, A.V. Noskov // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2014. – Т. 8. № 2. – P. 398–403.

29. Pavlenko V.I. Using the high-dispersity $[\alpha]\text{-Al}_2\text{O}_3$ as a filler for polymer matrices, resistant against the atomic oxygen / V.I. Pavlenko, N.I. Cherkashina, A.V. Yastrebinskaya, P.V. Matyukhin, O.V. Kuprieva // World Applied Sciences Journal. – 2013. – Т. 25. № 12. – P. 1740–1746.

30. Pavlenko V.I. Study of the attenuation coefficients of photon and neutron beams passing through titanium hydride / V.I. Pavlenko, O.D. Edamenko, N.I. Cherkashina, O.V. Kuprieva, A.V. Noskov // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2015. – Т. 9. № 3. – P. 546–549.

31. Slyusar' O.A. Effect of additives on dispersed system structure formation / O.A. Slyusar', R.N. Yastrebinskii, N.I. Cherkashina, V.A. Doroganov, A.V. Yastrebinskaya // Refractories and Industrial Ceramics. – 2015.

32. Yastrebinsky R.N. Modifying the surface of iron-oxide minerals with organic and inorganic modifiers/ R.N. Yastrebinsky, V.I. Pavlenko, P.V. Matyukhin, N.I. Cherkashina, O.V. Kuprieva // Middle East Journal of Scientific Research. – 2013. – Т. 18. № 10. – P. 1455–1462.

УДК 666.712

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА НА ОСНОВЕ МАЛОПЛАСТИЧНОЙ ГЛИНЫ С ДОБАВЛЕНИЕМ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ШЛАМА

Сухарникова М.А., Пикалов Е.С.

ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru

Приведены результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств керамического кирпича на основе разработанного состава, включающего малопластичную глину Суворотского месторождения Владимирской области и гальванический шлам местного предприятия ОАО «Завод «Автоприбор» (г. Владимир). Учитывались следующие свойства материала, определенные по стандартным методикам: плотность, прочность на сжатие, пористость и водопоглощение. Дополнительно приведены результаты оценки токсичности материала при помощи методики определения смертности дафний *Daphnia magna* Straus под действием токсических веществ, присутствующих в водной вытяжке из исследуемых керамических образцов. Из-за резкого снижения прочностных характеристик и высокой токсичности полученного материала в состав шихты была дополнительно введена борная кислота. В результате были получены прочностные характеристики, превышающие показатели для образцов, полученных без введения гальванического шлама, а токсичность снижена до удовлетворительного уровня. Таким образом, разработанный состав на основе применяемых глины и гальванического шлама в установленных количествах с добавлением борной кислоты в качестве модификатора возможно ввести в производство экологически безопасного керамического кирпича высокого качества.

Ключевые слова: керамический кирпич, гальванический шлам, прочность на сжатие, экологическая безопасность

RESEARCH ON THE POSSIBILITY OF PRODUCTION OF CERAMIC BRICKS ON THE BASIS OF LOW PLASTICITY CLAY WITH THE ADDITION OF GALVANIC SLUDGE

Sukharnikova M.A., Pikalov E.S.

Vladimir state university of a name of Alexander Grigorevich and Nikolay Grigorevich Stoletovs, Vladimir, e-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru

The results of experimental research of physical-mechanical properties of ceramic bricks on the basis of the developed composition comprising low plasticity clay deposits Svartskog Vladimir region and galvanic mud of local enterprise JSC «Plant» enterprises were built» (Vladimir). Take into account the following material properties defined by standard methods: density, compressive strength, porosity and water absorption. Additionally, the results of the assessment of the toxicity of the material by means of methods for determining mortality *Daphnia magna* Straus under toxic substances present in the aqueous extract of the studied ceramic samples. Due to a sharp decrease of the strength characteristics and high toxicity of the material obtained in the composition of the charge was added boric acid. The result is a strength characteristics exceeding the indices for the samples obtained without the introduction of galvanic sludge and toxicity reduced to a satisfactory level. Thus, the developed composition on the basis of the used clay and galvanic sludge in the installed quantities with the addition of boric acid as a modifier possible the production of environmentally safe ceramic bricks quality.

Keywords: ceramic brick, galvanic sludge, compressive strength, environmental safety

По объемам выпуска производство строительных материалов входит в число ведущих отраслей промышленности России и отличается высокой потребностью продукции на рынке. Промышленность строительных материалов определяет эффективность развития строительного комплекса, который обеспечивает рост всех отраслей экономики любого региона за счет строительства промышленных объектов, и способствует решению ряда социальных задач, таких как обновление жилищных фондов и определение цен на жилье [5].

Одним из основных стеновых строительных материалов является керамический

кирпич, несмотря на то что в последнее время чаще используются более дешевые, но менее долговечные и экологически безопасные материалы [5]. В связи с этим необходима разработка технологий, позволяющих получить керамический кирпич высокого качества и низкой себестоимости.

При этом следует учитывать, что строительный кирпич в России в основном производится на предприятиях сравнительно небольшой производственной мощности, работающих на местном сырье. Поэтому актуальным будет рассмотрение возможности получения керамического кирпича из местного сырья низкого качества, а также

вторичного сырья, что одновременно решает проблему утилизации промышленных отходов региона.

Цель исследования

Целью данной работы являлась оценка возможности производства керамического кирпича на основе малопластичной глины Владимирской области с добавлением гальванического шлама, утилизация которого для рассматриваемого региона является одной из наиболее важных проблем [4].

Для этого необходимо изучить влияние содержания гальванического шлама в составе керамики на основные физико-механические свойства получаемого материала и подобрать состав шихты, обеспечивающий высокое качество изделий. Так как гальванический шлам содержит тяжелые металлы и является вредным для окружающей среды отходом, относящимся к 2–3 классу опасности [8], было необходимо провести исследования, подтверждающие экологическую безопасность получаемого керамического материала.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследований была выбрана глина Суворовского месторождения Владимирской области, которая имела следующий состав (масс. %): $\text{SiO}_2 = 67,5$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 10,75$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 5,85$; $\text{CaO} = 2,8$; $\text{MgO} = 1,7$; $\text{K}_2\text{O} = 2,4$; $\text{Na}_2\text{O} = 0,7$. Наличие в составе глины оксидов алюминия, кальция и магния свидетельствовало о низкой пластичности глины.

Для введения в состав шихты применялся гальванический шлам предприятия ОАО «Завод «Автоприбор» (г. Владимир), представляющий собой продукт реагентной очистки сточных вод гальванических производств данного предприятия влажностью от 60 до 70% [7]. В состав шлама входили следующие соединения (масс. %): $\text{Zn}(\text{OH})_2 \approx 11,3\%$; $\text{SiO}_2 \approx 7,08\%$; $\text{Ca}(\text{OH})_2 \approx 16,52\%$; $\text{Cr}(\text{OH})_3 \approx 9,31\%$; $(\text{Fe}^{2+})\text{Cr}_2\text{S}_4 \approx 4,17\%$; $\text{CaCO}_3 \approx 40,25\%$; $\text{CaO} \approx 3,45\%$; $\text{ZnO} \approx 2,41\%$; $\text{Cu}(\text{OH})_2 \approx 2,38\%$; $\text{Ni}(\text{OH})_2 \approx 2,62\%$; $\text{Mn}(\text{OH})_2 \approx 0,64\%$; $\text{Pb}(\text{OH})_2 \approx 0,14\%$. Наличие в составе относительно большого соединений цинка, хрома подтверждает токсичность данного шлама.

Перед проведением исследований указанные материалы высушивались и измельчались, а для приготовления сырьевой смеси отбиралась фракция с размером частиц менее 0,63 мм. Для получения образцов материала применялась технология полусухого прессования [9, 10] при формовочной влажности шихты 8 масс. %, удельном давлении прессования 15 МПа и температуре обжига 1050 °С. Образцы материала изготавливались сериями в виде кубиков со стороной 50 мм. Каждая серия состояла из трех образцов.

Для оценки физико-механических свойств у образцов по стандартным для керамических материалов методикам определялись плотность (ρ , кг/м³), прочность на сжатие ($\sigma_{\text{сж}}$, МПа), пористость (П, %) и водопоглощение (В, %). Токсичность керамики оценивалась при помощи методики определения смертности

дафний *Daphnia magna* Straus под действием токсических веществ, присутствующих в водной вытяжке из исследуемых образцов [3].

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты определения физико-механических свойств образцов, полученных после введения в состав шихты различного количества шлама (ГШ), представлены на рис. 1 и 2.

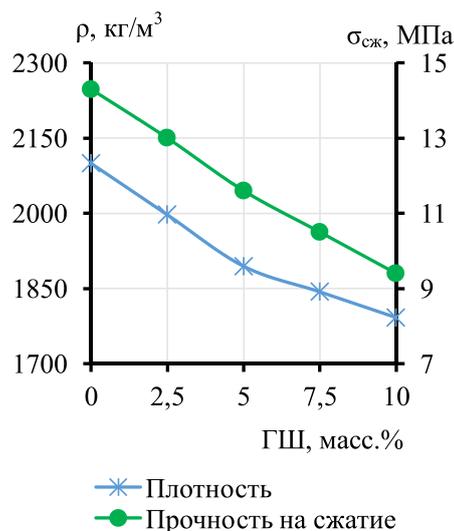


Рис. 1. Плотность и прочность на сжатие исследуемых образцов

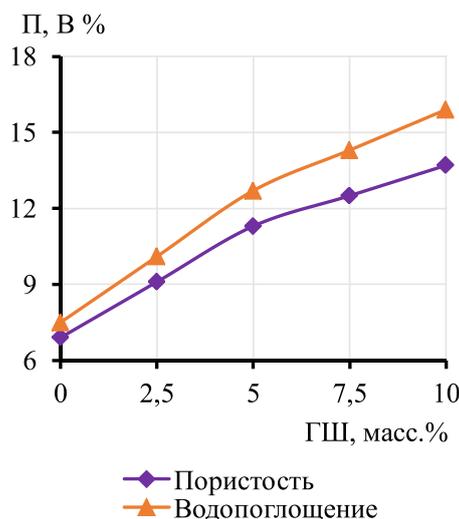


Рис. 2. Пористость и водопоглощение исследуемых образцов

Как следует из данных рис. 1, с увеличением содержания в составе шихты гальва-

нического шлама приводит к уменьшению плотности и прочности получаемого керамического материала. Это связано с тем, что в состав гальванического шлама входят соединения, разлагающиеся при нагреве до высоких температур с образованием газов и водяного пара, что приводит к образованию внутри образца пор и пустот, поэтому пористость и водопоглощение материала увеличиваются, что подтверждается данными рис. 2. При проведении эксперимента на определение токсичности для всех исследуемых составов была зафиксирована гибель более 50% дафний, что свидетельствует о высокой доли миграции тяжелых металлов.

В связи с этим было принято решение ограничить количество гальванического шлама до 2,5 масс. % и ввести в состав шихты борную кислоту в качестве модифицирующей добавки. Выбор данного компонента основан на сведениях о том, что борная кислота даже в небольшом количестве приводит к образованию стекловидной фазы при обжиге, что повышает плотность и прочность керамики [1, 2], а также затрудняет миграцию тяжелых металлов [6].

Результаты экспериментов, проведенных на составах с различным количеством борной кислоты (БК) при отдельном и совместно с гальваническим шламом введении в шихты, приведены в таблице.

Результаты определения токсичности образцов, полученных на основе указанных в таблице составов, показаны на рис. 3.

Как следует из данных рис. 3, с увеличением содержания борной кислоты (составы 1 и 2) увеличивается токсичность материала, а следовательно, повышение содержания данного компонента нецелесообразно. Введение 2 масс. % борной кислоты в состав шихты совместно с гальваническим шламом (состав 4) позволяет получать керамический материал с удовлетворительной токсичностью.

Выводы

Таким образом, в результате проведенных исследований доказана возможность получения керамического кирпича высокого качества на основе малопластичной глины месторождения Владимирской области с добавлением 2,5 масс. % гальванического шлама предприятия ОАО «Завод «Автоприбор» (г. Владимир) и 2 масс. % борной кислоты. В сравнении с контрольным составом, получаемым только на основе исследуемой глины, разработанный состав позволяет получать материал с повышенной прочностью (от 14,3 до 21,8 МПа). При этом разработанный состав позволяет утилизировать токсичные отходы местного предприятия с получением экологически безопасного строительного материала.

Физико-механические свойства модифицированного керамического кирпича

Состав	Содержание, масс. %		Плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Пористость, %	Водопоглощение, %
	ГШ	БК				
1	–	1	2090,3	21,6	5,9	6,3
2	–	2	2139	22,1	5,2	5,4
3	2,5	1	2051,6	21,2	8,2	9,7
4	2,5	2	2089,3	21,8	7,7	8,9
5	2,5	–	1996,9	13,0	9,1	10,1

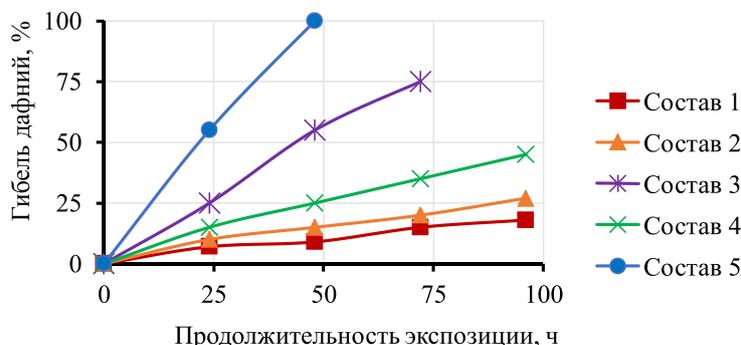


Рис. 3. Оценка токсичности исследуемых составов

Список литературы

1. Абдрахимов В.З., Колпаков А.В. Инновационные направления использования кальцийсодержащего нанотехнологенного сырья: осадок отхода сточных вод, отхода пыли-уноса асфальтобетонных заводов, шлама от водоочистки воды и гальванического шлама в производстве кирпича // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2013. № 8(656). – С. 41–46.
2. Марьин В.К., Кузнецов Ю.С., Новокрещенова С.Ю. Опыт утилизации промышленных отходов в Пензенской области // Экология и промышленность России. – 2005. – № 5. – С. 28–33.
3. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодovitости дафний. Федеральный реестр ФР.1.39.2007.03222. – URL: <http://www.koshcheev.ru/wp-content/uploads/2012/07/Petrik-FR-1-39-2007-03222.pdf> (дата обращения 03.10.2015).
4. О состоянии окружающей среды и здоровья населения Владимирской области в 2014 году: ежегодный доклад, выпуск 22. – Владимир: Издательство ООО «Транзит-ИКС», 2015. – 49 с.
5. Отраслевой обзор «Российский рынок стройматериалов». Москва: Департамент консалтинга группы ИНЭК. – 2004. URL: <http://inec.ru/documents/stroymaterial-rus.pdf> (дата обращения: 03.10.2015).
6. Патент РФ № 2000132870/03, 26.12.2000.
7. Кузнецов Ю.С., Баранова Е.В., Камшилов В.Г., Калашников В.И., Гушин В.А. Керамическая масса для изготовления изделий стеновой керамики // Патент России № 2200721.2003. Бюл. № 33.
8. Селиванов О.Г., Михайлов В.А. Комплексная экологическая оценка полимерного покрытия, содержащего отходы гальванического производства // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/120-16534> (дата обращения 03.10.2015).
9. Селиванов О.Г. Оценка экологической опасности полимерных строительных покрытий, наполненных гальваническим шламом / О.Г. Селиванов, В.Ю. Чухланов, Н.В. Селиванова, В.А. Михайлов, О.В. Савельев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, № 3(6). – С. 1956–1960.
10. Христофоров А.И., Христофорова И.А., Пикалов Е.С., Кутровская С.В. Влияние структуры керамики на прочностные характеристики керамического кирпича // Строительство и реконструкция – 2011. – № 4. – С. 62–67.
11. Христофоров А.И., Христофорова И.А., Пикалов Е.С. Улучшение керамических свойств модифицированной стеновой керамики кирпича // Строительство и реконструкция. – 2011. – № 5. – С. 99–103.

УДК 681.183

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИАЛКАНИМИДОВ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Черкашина Н.И., Павленко В.И., Соколенко И.В., Жаворонкова М.К.

ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,
Белгород, e-mail: natalipv13@mail.ru

Разработан композиционный материал на основе полиалканимидной матрицы, армированной нанотрубчатыми наполненными волокнами. По уровню прочностных свойств в широком интервале температур нанонаполненный полиалканимид может быть отнесен к термопластам конструкционного назначения. Прочность при разрыве при отрицательных температурах увеличивается, а при повышенных – снижается. Относительное удлинение при разрыве и ударная вязкость с повышением температуры возрастают, что объясняется увеличением молекулярной подвижности полимерной матрицы. Нанонаполненный полиалканимид отличается от ненаполненного материала повышенной жесткостью, прочностью и меньшей величиной технологической усадки. Термоциклирование стандартных образцов из нанонаполненного полимера в интервале температур от – 200 °С (жидкий азот) до + 250 °С показало, что исходный уровень физико-механических, теплофизических свойств и стабильность размеров образцов сохраняются на протяжении 300 циклов.

Ключевые слова: полиалканимидная матрица, нанотрубчатый наполнитель, свойства

COMPOSITE MATERIALS ON THE BASIS POLIALKANIMIDOV FOR BIOLOGICAL PROTECTION OF THE PILOTED SPACECRAFTS

Cherkashina N.I., Pavlenko V.I., Sokolenko I.V., Zhavoronkova M.K.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, e-mail: natalipv13@mail.ru

Composite material on the basis of the polialkanimidny matrix reinforced by the nanotubular filled fibers is developed. On the level of strength properties in a wide interval of temperatures nanofilled полиалканимид it can be carried to thermolayers of constructional appointment. Durability at a gap at negative temperatures increases, and at the raised – decreases. Relative lengthening at a gap and impact strength with temperature increase increase that is explained by increase in molecular mobility of a polymeric matrix. Nanofilled полиалканимид differs from unfilled material in the increased rigidity, durability and smaller size of technological shrinkage. Thermocycling of standard samples from the nanofilled polymer in the range of temperatures from – 200 °С (liquid nitrogen) to + 250 °С showed that the initial level of physicomechanical, heatphysical properties and stability of the sizes of samples remain throughout 300 cycles.

Keywords: polialkanimidny matrix, nanotubular filler, properties

Проблема безопасности человека в космосе до недавнего времени ограничивалась вопросами безопасности при околоземных полетах. Перспектива пилотируемых полетов в межпланетном пространстве (например, к Марсу и обратно с высадкой на него) выдвигает совершенно новые вопросы. На первый план выходит использование ядерных энергетических установок (ЯЭУ), которые на сегодняшний день являются безальтернативным источником энергии в случае освоения межпланетного космического пространства. Причем ЯЭУ может служить не только источником энергии для жизнеобеспечения экипажа и питания аппаратуры, но и средством, обеспечивающим движение, в том числе с помощью ядерного ракетного двигателя [1–16].

Космические ЯЭУ обладают рядом особенностей, отличающих их от наземных собратьев. Помимо конструктивных особенностей ядерного реактора, это, в первую очередь, особенности радиационной защиты.

Должна быть обеспечена биологическая защита персонала обитаемых космических объектов и сохранение работоспособности бортового оборудования космических аппаратов, в частности, систем компьютерного управления, так как полупроводниковая электроника весьма чувствительна к облучению. Причем безопасность не только от внешнего космического излучения, но и от излучения самого ядерного реактора. А это, в первую очередь, защита от нейтронного и гамма-излучения [17–24].

Решение указанных проблем возможно путем создания термо- и радиационно-стойких полимерных композиционных материалов на основе высокопрочной nanoармированной полиалканимидной матрицы [25–34].

Цель исследования

Получить композиционные материалы на основе полиалканимидов, армированных нанотрубчатыми наполненными волокнами.

Материалы и методы исследования

Композиционные материалы получали смешением порошкообразного полиалканимида и волокнистого борсодержащего хризотила состава $MgO:SiO_2:B_2O_3 = 1,5:0,1:0,9$ (содержание атомов бора 10,9% масс) с последующей переработкой методом литья под давлением или горячего прессования. Способ переработки композиций определялся по показателю текучести расплава (ПТР).

Результаты исследования и их обсуждение

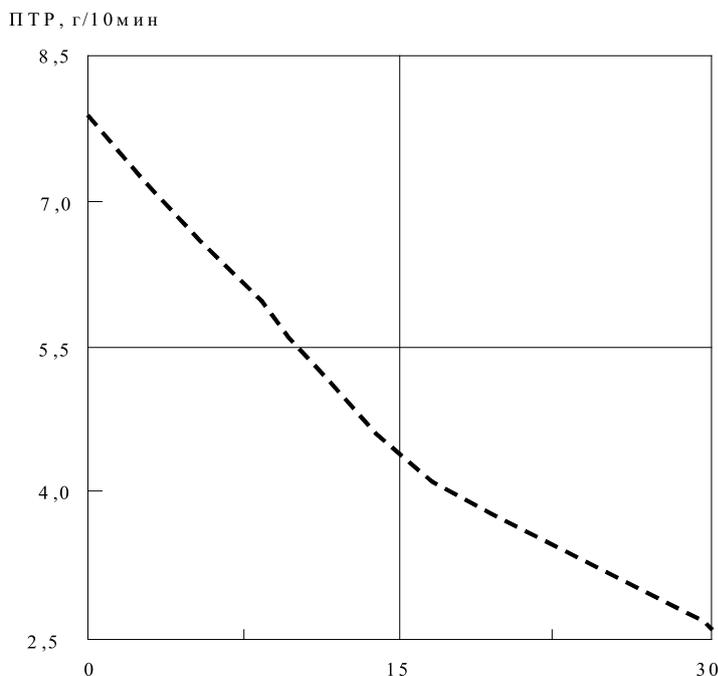
При введении в полиалканимид (ПАИ) волокнистого борсодержащего хризотила (ВБХ) наблюдается снижение ПТР (рисунок), что объясняется повышением вязкости системы.

Показатель текучести расплава наполненного полимера имеет достаточную для переработки литьем под давлением величину и с повышением температуры возрастает.

Наполнение термопласта ВБХ вызывает резкое снижение его деформируемости, особенно при небольших массовых долях наполнителя. Так, при 10%-м наполнении ПАИ относительное удлинение при разрыве ϵ_r уменьшается в 2,7 раза, а при дальнейшем увеличении степени наполнения снижение относительного удлинения при разрыве замедляется. Данный факт вызван повышением жесткости полимера.

Исходя из результатов термогравиметрического анализа (ТГА) ПАИ на воздухе можно заключить, что наполненный и ненаполненный ПАИ являются термостойкими полимерами. Их термостойкость, оцениваемая по 5% потери массы, составляет 418 и 416 °C соответственно.

Термические характеристики нанонаполненного ПАИ представлены в табл. 1.



Зависимость показателя текучести расплава ПАИ от массовой доли ВБХ

Таблица 1

Термические характеристики ПАИ

Показатели	Ненаполненный образец	Нанонаполненный образец
Потеря массы при нагревании до 400 °C	2,5	3,5
Температура деструкции, °C:		
начала	396	400
окончания	580	575
Температура максимума разложения*, °C	474, 532	477, 516
Энергия активации, кДж/моль	245	370

Примечание. *Для первой и для второй стадии разложения полимера.

Таблица 2

Зависимость свойств нанонаполненного полиалканимида от температуры

Температура испытаний, °С	Прочность при разрыве, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Ударная вязкость, кДж/м ²
- 60	141 (1,55)	10 (1,0)	31(1,11)
20	91 (1,00)	10 (1,0)	28 (1,00)
100	74 (0,81)	10 (1,0)	25 (0,79)
150	54 (0,59)	10 (1,0)	30 (1,07)
180	42 (0,46)	12 (1,2)	33 (1,18)
200	27 (0,30)	10 (1,0)	31(1,11)
220	27 (0,30)	10(1,1)	31(1,11)

Примечание. * В скобках приведен коэффициент сохранения свойств (отношение текущего показателя свойства к показателю при комнатной температуре).

Таблица 3

Теплофизические характеристики ПАИ

Показатели	Ненаполненный образец	Нанонаполненный образец
Теплоемкость, Дж/(кг·К) при температуре, °С		
0	800	1245
60	1150	1328
150	1570	1436
200	1690	1512
Энтальпия, Дж/кг рекристаллизации плавления	8,0 28,7	5,1 19,2
Температура плавления, °С	297,7	299,8

По уровню прочностных свойств (табл. 2) в широком интервале температур нанонаполненный полиалканимид может быть отнесен к термопластам конструкционного назначения. Прочность при разрыве при отрицательных температурах увеличивается, а при повышенных – снижается. Относительное удлинение при разрыве и ударная вязкость с повышением температуры возрастают, что объясняется увеличением молекулярной подвижности полимерной матрицы.

Теплофизические характеристики нанонаполненного ПАИ представлены в табл. 3.

Нанонаполненный полиалканимид отличается от ненаполненного материала повышенной жесткостью, прочностью и меньшей величиной технологической усадки. Термоциклирование стандартных образцов из нанонаполненного полимера в интервале температур от – 200 °С (жидкий азот) до + 250 °С показало, что исходный уровень физико-механических, теплофизических свойств и стабильность размеров образцов сохраняются на протяжении 300 циклов.

Заключение

Разработан композиционный материал на основе полиалканимидной матрицы,

армированной нанотрубчатými наполненными волокнами. По уровню прочностных свойств в широком интервале температур нанонаполненный полиалканимид может быть отнесен к термопластам конструкционного назначения.

Работа выполнена при поддержке проектной части Государственного задания Минобрнауки РФ, проект № 11.2034.2014/К и гранта РФФИ, проект № 14-08-00325.

Список литературы

1. Едаменко О.Д., Ястребинский Р.Н., Соколенко И.В., Ястребинская А.В. Нанонаполненные полимерные композиционные радиационно-защитные материалы авиационно-космического назначения // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 128.
2. Матюхин П.В., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н. Композиционный материал, стойкий к воздействию высокоэнергетических излучений // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 2. – С. 25–27.
3. Матюхин П.В., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Бондаренко Ю.М. Перспективы создания современных высококонструкционных радиационно-защитных металлокомпозиций // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 2. – С. 27–29.
4. Матюхин П.В., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Бондаренко Ю.М. Композиционный материал для радиационной защиты // Патент РФ №2470395, 20.12.2010.
5. Матюхин П.В., Ястребинский Р.Н. Исследование механизмов модифицирования поверхности природных

железородных минералов алкилсиликонатами // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2005. – Т. 48. – № 4. – С. 140.

6. Огрель Л.Ю., Ястребинская А.В., Бондаренко Г.Н. Полимеризация эпоксидного связующего в присутствии добавки полиметилсилоксана // Строительные материалы. – 2005. – № 9. – С. 82–87.

7. Огрель Л.Ю., Ястребинская А.В. Структурообразование и свойства легированных эпоксидных композитов // Строительные материалы. – 2004. – № 8. – С. 48–49.

8. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н. Полимерные радиационно-защитные композиты / Монография. – Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. – 199 с.

9. Павленко В.И., Епифановский И.С., Ястребинский Р.Н., Куприева О.В. Термопластичные конструкционные композиционные материалы для радиационной защиты // Перспективные материалы. – 2010. – № 6. – С. 22–28.

10. Павленко В.И., Едаменко О.Д., Ястребинский Р.Н., Черкашина Н.И. Радиационно-защитный композиционный материал на основе полистирольной матрицы // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 113–116.

11. Павленко В.И., Ястребинская А.В., Павленко З.В., Ястребинский Р.Н. Высокодисперсные органосилкоксановые наполнители полимерных матриц // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2010. – № 2. – С. 99–103.

12. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Ястребинская А.В. Полимерные диэлектрические композиты с эффектом активной защиты // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2009. – № 3. – С. 62–66.

13. Павленко В.И., Липканский В.М., Ястребинский Р.Н. Расчеты процессов прохождения гамма-квантов через полимерный радиационно-защитный композит // Инженерно-физический журнал. – 2004. – Т. 77, № 1. – С. 12–15.

14. Павленко В.И., Епифановский И.С., Ястребинский Р.Н. Радиационно-защитный бетон для биологической защиты ядерных реакторов // Перспективные материалы. – 2006. – № 3. – С. 22.

15. Павленко В.И., Воронов Д.В., Ястребинский Р.Н. Радиационно-защитный тяжелый бетон на основе железорудного минерального сырья // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2007. – № 4. – С. 40–42.

16. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Смоликов А.А., Дегтярев С.В., Воронов Д.В. Радиационно-защитный бетон для биологической защиты ядерных реакторов // Перспективные материалы. – 2006. – № 2. – С. 47–50.

17. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Воронов Д.В. Тяжелый бетон для защиты от ионизирующих излучений // Строительные материалы. – 2007. – № 8. – С. 48–49.

18. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Воронов Д.В. Исследование тяжелого радиационно-защитного бетона после активации быстрыми нейтронами и гамма-излучением // Инженерно-физический журнал. – 2008. – Т. 81. – № 4. – С. 661–665.

19. Павленко В.И., Смоликов А.А., Ястребинский Р.Н., Дегтярев С.В., Панкратьев Ю.В., Орлов Ю.В. Радиационно-защитный бетон для АЭС с РБМК на основе железо-серпентинитовых композиций с цементным связующим // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2004. – № 8. – С. 66.

20. Павленко В.И., Куприева О.В., Черкашина Н.И., Ястребинский Р.Н. Дефектность кристаллов модифицированного гидрида титана, подвергнутого термической обработке // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58, № 5. – С. 125–129.

21. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Матюхин П.В., Ястребинская А.В., Куприева О.В., Самойлова Ю.М. Радиационно-защитные транспортные контейнеры отработавшего ядерного топлива на основе высоконаполненной полимерной матрицы и железорудного сырья КМА // В сборнике: Региональная научно-техническая конференция по итогам

конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого РФФИ и Правительством Белгородской области. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 320–330.

22. Соколенко И.В., Ястребинский Р.Н., Крайний А.А., Матюхин П.В., Тарасов Д.Г. Моделирование прохождения высокоэнергетических электронов в высоконаполненном полимерном композите // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 6. – С. 145–148.

23. Ястребинская А.В., Огрель Л.Ю. Разработка и применение композиционного материала на основе эпоксиановой смолы для строительных конструкций и теплоэнергетики // Современные наукоемкие технологии. – 2004. – № 2. – С. 173.

24. Ястребинская А.В., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н. Коррозионно-стойкие полимеркомпозиты на основе эпоксидных и полиэфирных олигомеров для строительства // Перспективы развития строительного комплекса. – 2012. – Т. 1. – С. 243–247.

25. Ястребинский Р.Н., Павленко В.И., Ястребинская А.В., Матюхин П.В. Структурообразование металло-олигомерных водных дисперсий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 2. – С. 121–123.

26. Ястребинский Р.Н., Павленко В.И., Матюхин П.В., Воронов Д.В., Павленко З.В., Самойлова Ю.М. Конструкционные радиационно-защитные композиционные материалы на основе модифицированных железорудных пород КМА // В сборнике: Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого РФФИ и Правительством Белгородской области. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 491–499.

27. Ястребинская А.В., Павленко В.И., Матюхин П.В., Воронов Д.В. Механическая активация полимерных диэлектрических композиционных материалов в непрерывном режиме // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2009. – № 3. – С. 74–77.

28. Ястребинский Р.Н., Павленко В.И., Матюхин П.В., Четвериков Н.А. Композиционный материал для защиты от гамма-излучения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 17–20.

29. Ястребинская А.В. Модифицированный конструкционный стеклопластик на основе эпоксидных олигомеров для строительных изделий: Автореф. дис. канд. техн. наук. / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород. Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2004. – 19 с.

30. Ястребинский Р.Н., Павленко В.И., Бондаренко Г.Г., Ястребинская А.В., Черкашина Н.И. Модифицированные железоксидные системы – эффективные сорбенты радионуклидов // Перспективные материалы. – 2013. – № 5. – С. 39–43.

31. Ястребинский Р.Н., Бондаренко Г.Г., Павленко В.И. Транспортный упаковочный комплект для радиоактивных отходов на основе радиационно-защитной полимерной матрицы / Перспективные материалы. – 2015. – № 6. – С. 25–31.

32. Pavlenko V.I., Yastrebinskii R.N., Kuprieva O.V., Epifanovskii I.S. Thermoplastic constructional composite material for radiation protection // Inorganic Materials: Applied Research. – 2011. – Т. 2, № 2. – P. 136–141.

33. Pavlenko V.I., Yastrebinskii R.N., Lipkanski V.M. Simulation of the processes of gamma-radiation transport through shielding containers for radioactive waste // Russian Physics Journal. – 2003. – Т. 46, № 10. – P. 1062–1065.

34. Pavlenko V.I., Yastrebinskij R.N., Degtyarev S.V. Modeling of processes of interaction of high-energy radiations with radiation-protective oxide of iron composites // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2005. – Т. 10, № 1–2. – P. 46–51.

УДК 54-76

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОТРУБЧАТЫХ СТРУКТУР ДЛЯ СИНТЕЗА РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ**Ястребинский Р.Н., Павленко В.И., Демченко О.В.***ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,
Белгород, e-mail: yrndo@mail.ru*

Рассмотрены различные способы защиты от радиации (ионизирующего излучения). Показаны способы и материалы для защиты от радиации в космосе и на атомных электростанциях. В данной работе представлена возможность использования нанотрубчатых структур для синтеза радиационно-защитных экранов. В качестве нанотрубчатых структур использовали волокна хризотила. При синтезе волокон хризотила использовали добавки с содержанием кристаллизационной воды, в частности, буру и кристаллогидрат двухвалентного железа, а для поглощения тепловых нейтронов – борсодержащие соединения, в частности, борную кислоту. Установлена возможность получения бетонного композиционного материала, обладающего высокими термическими и нейтронно-защитными свойствами в сравнении с обычным тяжелым бетоном на основе волокон хризотила. Бетоны и растворы на основе разработанного нанотрубчатого хризотилового наполнителя способны без существенного ухудшения строительно-технических свойств выдерживать длительное действие радиации с интегральным потоком нейтронов до $5 \cdot 10^{24}$ н/м² при рабочих температурах до 750 °С. При локальных перегревах такие бетоны будут устойчивы до 1150 °С, хотя и потеряют до 35 % исходной прочности.

Ключевые слова: нанотрубки, хризотил, радиационная защита, нейтронная защита, бетоны, растворы

USING NANO TUBE STRUCTURE FOR SYNTHESIZING RADIATION-PROTECTIVE SCREENS**Yastrebinsky R.N., Pavlenko V.I., Demchenko O.V.***Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, e-mail: yrndo@mail.ru*

Various methods of radiation protection (ionizing radiation). Showing methods and materials for protection against radiation in space and in nuclear power plants. This paper presents the possibility of using nanotube structures for the synthesis of radiation-shielding. As the nanotube structures used chrysotile fibers. In the synthesis of the chrysotile fibers with the additive used crystal-water content, particularly borax and hydrated ferrous iron, and for the absorption of thermal neutrons – boron compounds, particularly boric acid. The possibility of obtaining a concrete composite material, with high thermal and neutron shielding properties compared to conventional heavy concrete on the basis of chrysotile fibers. Concrete and solutions developed on the basis of chrysotile nanotube filler capable without a significant reduction of construction and technical properties to withstand long-term effect of radiation with the integral neutron flux to $5 \cdot 10^{24}$ N / m² at operating temperatures up to 750 °C. When local overheating of such concrete are stable up to 1150 °C, although it will lose up to 35% of the original strength.

Keywords: nanotubes, chrysotile, radiation protection, neutron shielding, concrete, solution

Существует несколько способов защиты от радиации (ионизирующего излучения): необходимо сокращать длительность облучения, увеличивать расстояние до источника радиации, а также использовать радиационно-защитные экраны. В настоящее время много исследований посвящено созданию таких радиационно-защитных и радиационно-стойких экранов [2, 9, 25, 32].

Они могут быть изготовлены из одного материала, однако применение различных композиционных материалов, которые включают в себя несколько компонентов, позволяет создавать экраны, обладающие наибольшей радиационной стойкостью [1, 13, 20, 21]. Известно, что свойствами композитов можно управлять, изменяя их состав и условия получения, так, например, можно просто увеличивать или уменьшать долю компонентов [5, 22, 23, 31], что позволяет создавать материа-

лы с заданными свойствами для определенной цели.

Обычно используют комбинацию нескольких материалов, поскольку трудно подобрать универсальный материал для всех видов излучения. Так, например, в космосе действуют такие излучения, как электроны, протоны, вакуумный ультрафиолет и др. Соответственно для защиты от каждого из них требуется свой подход. Для защиты от вакуумного ультрафиолета необходимо использовать фотостойкие материалы, особенно если необходимо защитить полимер [3, 4, 16–18, 26]. Для защиты от электронов лучше использовать элементы с малой атомной массой [10, 14, 15, 19, 28]. Кроме того, в космосе еще необходимо защищаться от набегающего потока различных частиц, в особенности от атомарного кислорода. Существует ряд исследований, посвященных этой проблеме [12, 29].

На Земле же необходимо защищаться от других видов излучения. Для создания биологической защиты на атомных электростанциях необходимо создавать защиту от нейтронного излучения. Проникающая способность нейтронов зависит от их энергии и состава атомов вещества, с которыми они взаимодействуют. Слой половинного ослабления лёгких материалов для нейтронного излучения в несколько раз меньше, чем для тяжёлых. Тяжёлые материалы, например металлы, хуже ослабляют нейтронное излучение, чем гамма-излучение. Лучшими для защиты от нейтронного излучения являются водородсодержащие материалы [6, 7, 11, 30]. Обычно применяют воду, парафин, полиэтилен. Кроме того, нейтронное излучение хорошо поглощается бором, бериллием, кадмием, графитом [8, 24, 27].

Для защиты от нейтронов применяют бетонные конструкции, а задача проектировщиков состоит в правильном выборе толщины и состава бетонной защиты, которая могла бы обеспечить ослабление потоков ионизирующих излучений до безопасного уровня при минимальных затратах на сооружение реакторной установки.

В данной работе рассмотрена возможность применения нанотрубчатых волокон хризотила для синтеза радиационно-защитных бетонов.

Цель исследования

Изучить возможность создания волокнистых материалов из волокон хризотила и радиационно-защитных бетонов с их использованием, обладающих высокой стойкостью к нейтронному облучению.

Материалы и методы исследования

При синтезе волокон хризотила использовали добавки с содержанием кристаллизационной воды, в частности, буру ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) и кристаллогидрат двухвалентного железа ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – железный купо-

рос), а для поглощения тепловых нейтронов – борсодержащие соединения, в частности, борную кислоту.

Для получения радиационно-защитного бетона в качестве вяжущего использовали глинозёмистый цемент марки ГЦ 50, в качестве заполнителя – чугунную дробь ($\rho = 7400 \text{ кг/м}^3$) и разработанные синтезированные нанотрубчатые волокна хризотила. Для сокращения В/Ц применялись специальные модифицирующие добавки.

Результаты исследования и их обсуждение

Волокнистые кристаллы получены из шихты, состоящей из исходных компонентов в соотношении $\text{MgO}:\text{SiO}_2:\text{B}_2\text{O}_3 = 2,4:0,1:1,5$, при давлении $9,81 \cdot 10^6 \text{ Па}$ и температуре 423 К. При этой температуре для завершения процесса серпентинизации требуется трое суток, ввиду того что растворимость кремнезёма очень мала. Транспортирующим агентом для кремнезёма в гидротермальных условиях служат как вода, так и пар, следовательно, чем больше воды в реакционном объёме автоклава при данной температуре, тем больше в ней растворено кремнезёма, но увеличение количества воды приводит к увеличению давления. При увеличении температуры реакции до 573 К (давление $9,81 \cdot 10^6 \text{ Па}$) реакция завершается за два часа.

Физико-механические свойства разработанного бетона представлены в таблице. Содержание связанной воды после сушки ($T = 110^\circ\text{C}$) – 2,3 %, после нагрева до рабочей температуры эксплуатации – 1,1 %.

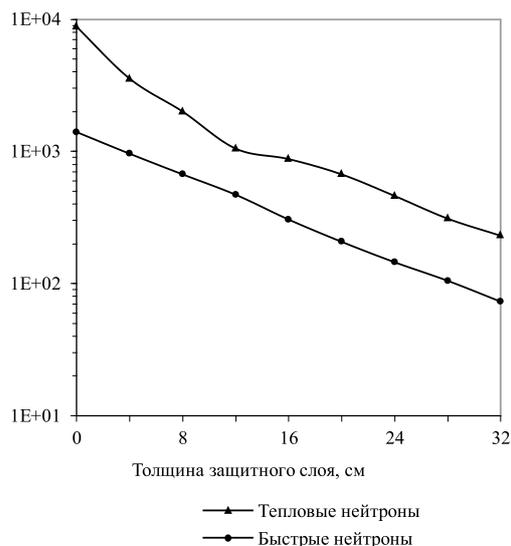
Исследованы нейтронно-защитные свойства бетонного композита, наполненного нанотрубчатыми хризотилowymi волокнами.

На рисунке приведены экспериментальные функции ослабления плотности потоков тепловых и быстрых нейтронов в радиационно-защитном бетоне.

Плотность потока быстрых нейтронов уменьшается по экспоненциальному закону с длиной релаксации $\lambda = (9,3 \pm 0,2) \text{ см}$.

Физико-механические свойства радиационно-защитного бетона

№ п/п	Параметр	Значение
1	Средняя плотность бетона, ρ , кг/м^3	5200
2	Предел прочности при сжатии, МПа	65
3	Предел прочности при изгибе, МПа	11
4	Рабочая температура эксплуатации, $^\circ\text{C}$	750
5	Максимальная температура эксплуатации, $^\circ\text{C}$	1150
6	Содержание кристаллизационной воды после нагрева до рабочей температуры эксплуатации, %	1,1



Функции распределения плотности потоков тепловых (1) и быстрых (2) нейтронов в разработанном радиационно-защитном бетоне

Плотность потока тепловых нейтронов в первых слоях (~ до 12 см) материала изменяется более резко по сравнению с быстрыми нейтронами. При толщине защиты более 12 см ослабление плотности потока тепловых нейтронов происходит одинаково с быстрыми нейтронами с длиной релаксации $\lambda_{т.н.} = (8,3 \pm 0,2)$ см, т.е. в материале не происходит накопление тепловых и промежуточных нейтронов.

Таким образом, на основании проведенных исследований установлена возможность получения бетонного композиционного материала, обладающего высокими термическими и нейтронно-защитными свойствами в сравнении с обычным тяжелым бетоном. Бетоны и растворы на основе разработанного нанотрубчатого хризотилового наполнителя способны без существенного ухудшения строительно-технических свойств выдерживать длительное действие радиации с интегральным потоком нейтронов до $5 \cdot 10^{24}$ н/м² при рабочих температурах до 750 °С. При локальных перегревах такие бетоны будут устойчивы до 1150 °С, хотя и потеряют до 35 % исходной прочности.

Заключение

В ходе проведенных исследований был разработан способ получения термостойкого нанотрубчатого наполнителя с высокой способностью замедления нейтронов.

Полученный нанотрубчатый наполнитель на основе хризотила может быть ре-

комендован для получения термостойких бетонов с повышенными нейтронно-защитными свойствами. Благодаря высокой температуре эксплуатации бетона (до 750 °С), и максимальных локальных перегревах до 1150 °С, полученный жаростойкий бетон может эффективно применяться при конструировании биологической защиты атомных реакторов.

Работа выполнена при поддержке проектной части Государственного задания Минобрнауки РФ, проект № 11.2034.2014/К.

Список литературы

1. Матюхин П.В. Жаропрочный радиационно-защитный композиционный материал конструкционного назначения / П.В. Матюхин, В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, Н.И. Черкашина, В.А. Дороганов, Е.И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 10. – С. 32–36.
2. Матюхин П.В. Термостойкие радиационно-защитные композиционные материалы, эксплуатируемые при высоких температурах / П.В. Матюхин, В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, В.А. Дороганов, Н.И. Черкашина, Е.И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 7–8. – С. 23–25.
3. Павленко В.И. Влияние вакуумного ультрафиолета на микро- и наноструктуру поверхности модифицированных полистирольных композитов / В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Перспективные материалы. – 2013. – № 3. – С. 14–19.
4. Павленко В.И. Влияние вакуумного ультрафиолета на поверхностные свойства высоконаполненных композитов / В.И. Павленко, В.Т. Заболотный, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Физика и химия обработки материалов. – 2013. – № 2. – С. 19–24.
5. Павленко В.И. Влияние содержания кремнийорганического наполнителя на физико-механические и поверхностные свойства полимерных композитов / В.И. Павленко, Н.И. Черкашина, В.В. Сухорослова, Ю.М. Бондаренко // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 95.
6. Павленко В.И. Дефектность кристаллов модифицированного гидроксида титана, подвергнутого термической обработке / В.И. Павленко, О.В. Куприева, Н.И. Черкашина, Р.Н. Ястребинский // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58. № 5. – С. 125–129.
7. Павленко В.И. Изучение коэффициентов ослабления фотонного и нейтронного пучков при прохождении через гидрид титана / В.И. Павленко, О.Д. Едаменко, Н.И. Черкашина, О.В. Куприева, А.В. Носков // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2015. – № 6. – С. 21.
8. Павленко В.И. Модифицирование поверхности гидроксида титана боросиликатом натрия / В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, О.В. Куприева, Р.Н. Ястребинский, Н.И. Черкашина // Перспективные материалы. – 2014. – № 6. – С. 19–24.
9. Павленко В.И. Радиационно-защитный композиционный материал на основе полистирольной матрицы / В.И. Павленко, О.Д. Едаменко, Р.Н. Ястребинский, Н.И. Черкашина // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 113–116.
10. Павленко В.И. Расчет ионизационных и радиационных энергетических потерь быстрых электронов в полистирольном композите / В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, Н.И. Черкашина // Перспективные материалы. – 2015. – № 8. – С. 5–11.
11. Павленко В.И. Повышение эффективности антикоррозийной обработки ядерного энергетического оборудования путем пассивации в алюминийсодержащих растворах / В.И. Павленко, В.В. Прозоров, Л.Л. Лебедев, Ю.И. Слепо-

конь, Н.И. Черкашина // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2013. – Т. 56. № 4. – С. 67–70.

12. Павленко В.И. Экспериментальное и физико-математическое моделирование воздействия набегающего потока атомарного кислорода на высоконаполненные полимерные композиты / В.И. Павленко, Л.С. Новиков, Г.Г. Бондаренко, В.Н. Черник, А.И. Гайдар, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Перспективные материалы. – 2012. – № 4. – С. 92–98.

13. Павленко В.И. Эффективный способ получения термостойкого кристаллического нанопорошка вольфрамата свинца для жаростойких радиационно-защитных материалов / В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, В.А. Дороганов, И.В. Соколенко, Н.И. Черкашина, Е.И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 7–8. – С. 32–36.

14. Павленко В.И. Явления электризации диэлектрического полимерного композита под действием потока высокоэнергетических протонов / В.И. Павленко, А.И. Акишин, О.Д. Едаменко, Р.Н. Ястребинский, Д.Г. Тарасов, Н.И. Черкашина // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010. – Т. 12. № 4–3. – С. 677–681.

15. Павленко В.И. Суммарные потери энергии релятивистского электрона при прохождении через полимерный композиционный материал / Павленко В.И., Едаменко О.Д., Черкашина Н.И., Носков А.В. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2014. – № 4. – С. 101–106.

16. Черкашина Н.И. Воздействие вакуумного ультрафиолета и кислородной плазмы на структуру и устойчивость полистирольного композита с органосилоксановым наполнителем: диссертация ... кандидата технических наук. – Белгород, 2013.

17. Черкашина Н.И. Исследование влияния вакуумного ультрафиолета на морфологию поверхности нанонаполненных полимерных композиционных материалов в условиях, приближенных к условиям околоземного космического пространства / Черкашина Н.И., Павленко В.И., Едаменко А.С., Матюхин П.В. // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 130.

18. Черкашина Н.И. Воздействие вакуумного ультрафиолета на полимерные нанокompозиты // Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения): Материалы Межд. научно-практич. конференции. – 2010. – С. 246–249.

19. Черкашина Н.И. Моделирование воздействия космического излучения на полимерные композиты с применением программного комплекса GEANT4 // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3. – С. 122.

20. Черкашина Н.И. Перспективы создания радиационно-защитных полимерных композитов для космической техники в Белгородской области / Н.И. Черкашина В.И. Павленко / Белгородская область: прошлое, настоящее, будущее. Материалы областной научно-практической конференции в 3-х частях. – 2011. – С. 192–196.

21. Черкашина Н.И. Разработка наноструктурированных вяжущих на основе местного сырья Белгородской области для штукатурных растворов // В сборнике: Материалы

I Международной научно-практической конференции «Проблемы строительного производства и управления недвижимостью». – Кемерово, 2010. – С. 67–70.

22. Черкашина Н.И. Синтез высокодисперсного гидрофобного наполнителя для полимерных матриц / Н.И. Черкашина, А.А. Карнаухов, А.В. Бурков, В.В. Сухорослова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 6. – С. 156–159.

23. Ястребинский Р.Н. Модифицированные железокислотные системы – эффективные сорбенты радионуклидов / Р.Н. Ястребинский, В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, А.В. Ястребинская, Н.И. Черкашина // Перспективные материалы. – 2013. – № 5. – С. 39–43.

24. Ястребинский Р.Н. Структурно-фазовая характеристика боросиликатного покрытия // Р.Н. Ястребинский, О.В. Куприева, Н.И. Черкашина // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2014. – Т. 57. – № 9. – С. 20–23.

25. Matyukhin P.V. The high-energy radiation effect on the modified iron-containing composite material / P.V. Matyukhin, V.I. Pavlenko, R.N. Yastrebinsky, N.I. Cherkashina // Middle East Journal of Scientific Research. – 2013. – Т. 17. № 9. – P. 1343–1349.

26. Pavlenko V.I. Effect of vacuum ultraviolet on the surface properties of high-filled polymer composites / V.I. Pavlenko, N.I. Cherkashina, O.D. Edamenko, V.T. Zabolotny // Inorganic Materials: Applied Research. – 2014. – Т. 5. № 3. – P. 494–497.

27. Pavlenko V.I. Modification of titanium hydride surface with sodium borosilicate / V.I. Pavlenko, O.V. Kuprieva, R.N. Yastrebinskii, N.I. Cherkashina, G.G. Bondarenko // Inorganic Materials: Applied Research. – 2014. – Т. 5. № 5. – P. 219–223.

28. Pavlenko V.I. Total energy losses of relativistic electrons passing through a polymer composite / V.I. Pavlenko, O.D. Edamenko, N.I. Cherkashina, A.V. Noskov // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2014. – Т. 8. № 2. – P. 398–403.

29. Pavlenko V.I. Using the high-dispersity $[\alpha]\text{-Al}_2\text{O}_3$ as a filler for polymer matrices, resistant against the atomic oxygen / V.I. Pavlenko, N.I. Cherkashina, A.V. Yastrebinskaya, P.V. Matyukhin, O.V. Kuprieva // World Applied Sciences Journal. – 2013. – Т. 25. № 12. – P. 1740–1746.

30. Pavlenko V.I. Study of the attenuation coefficients of photon and neutron beams passing through titanium hydride / V.I. Pavlenko, O.D. Edamenko, N.I. Cherkashina, O.V. Kuprieva, A.V. Noskov // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2015. – Т. 9. № 3. – P. 546–549.

31. Slyusar' O.A. Effect of additives on dispersed system structure formation / O.A. Slyusar', R.N. Yastrebinskii, N.I. Cherkashina, V.A. Doroganov, A.V. Yastrebinskaya // Refractories and Industrial Ceramics. – 2015.

32. Yastrebinsky R.N. Modifying the surface of iron-oxide minerals with organic and inorganic modifiers / R.N. Yastrebinsky, V.I. Pavlenko, P.V. Matyukhin, N.I. Cherkashina, O.V. Kuprieva // Middle East Journal of Scientific Research. – 2013. – Т. 18. № 10. – P. 1455–1462.

УДК 636.32/38

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЯСНОЙ ТОНКОРУННОЙ ПОРОДЫ ЕТТИ МЕРИНОС НА ЮЖНОКАЗАХСКИХ МЕРИНОСАХ

¹Ажиметов Н.Н., ²Жумадиллаев Н.К., ¹Ескара М.А., ¹Косауова А.К., ¹Абдраманов К.К.

¹ТОО «Юго-Западный научно-исследовательский институт животноводства
и растениеводства», Шымкент, e-mail: karakul-00@mail.ru;

²ТОО «Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства»,
филиал «Научно-исследовательский институт овцеводства», Алматы

Тонкорунное овцеводство в Казахстане развито в Алматинской, Жамбылской и Южно-Казахстанской областях, где насчитывается около трех миллионов тонкорунных овец. Основные породы: казахская тонкорунная, «Етті меринос», казахский архаромеринос, южноказахский меринос и североказахский меринос. В мировом тонкорунном овцеводстве доминирует селекция на генетическое улучшение признаков мясной продуктивности, в том числе многоплодности и молочности, без снижения настрига и качества тонкой шерсти. На рынке же шерсти большим спросом пользуется тонкая шерсть высших сортиментов, диаметром шерстных волокон не более 18,0–21,0 мкм, отличающаяся благородством, белым жиропотом, люстровым блеском, высокой крепостью. Особенно ценится супертонкая шерсть, которая используется для выработки особо тонких высококачественных изделий. В этой связи неуклонно возрастает и производство шерсти тонких сортиментов. Если 10–15 лет назад овцеводы Австралии, например, производили сверхтонкой шерсти всего 8–9% от общего ее количества, то сейчас такой шерсти производится 45%, в том числе 30% тониной 14–17 мкм и 15% – тониной 18–21 мкм. В Южно-Казахстанской области разводят южноказахских мериносов шерстно-мясного направления. Бараны весят 75–85 кг, матки 48–50 кг. Шерсть в основном 64-го качества, длина 8–8,5 см. Настриг в физической массе с баранов 10 кг, с маток 4,0 кг. За последние 20 лет стала очевидной неэффективность специализации отрасли только на производстве шерсти, в настоящее же время производить баранину стало экономически выгодно, поэтому нашей первоочередной задачей стало повышение энергии роста, улучшение мясных форм и увеличение мясной продуктивности южноказахского мериноса. В 2010 году для улучшения мясной и шерстной продуктивности южноказахских мериносов из Алматинской области были завезены два барана породы «Етті меринос», в 2011 году повторно были приобретены 20 голов. Использование баранов-производителей «Етті меринос» в хозяйствах Южно-Казахстанской области на матках южноказахских мериносов показало, что полученный приплод характеризуется как крупный с высокой живой массой ягнят, при этом плодовитость маток увеличивается на 2,5–3,0%, выживаемость ягнят до отбивки выше на 2,7–3,0%.

Ключевые слова: южноказахский меринос, продуктивность, живая масса, настриг шерсти, длина шерсти, тонина шерсти, линия

RESULTS OF USE OF MEAT FINE-FLEECE BREED «ETTI MERINO» ON THE SOUTH KAZAKH MERINOS

¹Azhimetov N.N., ²Zhumadillaev N.K., ¹Eskara M.A., ¹Kosauova A.K., ¹Abdramanov K.K.

¹South-West Scientific Research Institute for Animal and livestock Crep Production LLP, Shymkent,
e-mail: karakul-00@mail.ru;

²Scientific Research Institute of Sheep Breeding branch of «Kazakh animal breeding and forage
production SRI» LLP, Almaty

Fine-fleece sheep breeding in Kazakhstan is developed in Almaty, Zhambylsky and Southern Kazakhstan areas where about three million fine-fleece sheep are. Main breeds: Kazakh fine-fleece, «Etti merino», argali merino, South Kazakh merino and North Kazakh merino. In world fine-fleece sheep breeding selection on genetic improvement of signs of meat efficiency, including a mnogoplodnost and molochnost, without decrease in a nastrig and quality of thin wool dominates. In the market of wool thin wool of the highest assortments, with a diameter of wool fibers no more than 18,0–21,0 microns, differing in nobility, a white zhiropot, lystrovy gloss, high fortress is in great demand. Superthin wool which is used for development of especially thin high-quality products is especially appreciated. In this regard also production of wool of thin assortments steadily increases. If 10–15 years ago sheep breeders of Australia, for example, made superthin wool only 8–9% of its general quantity, now such wool 45%, including 30% of toniny 14–17 microns and 15% – toniny 18–21 micron are made. In the Southern Kazakhstan area part the South Kazakh merinos, the sherstno-meat direction of efficiency. Rams weigh 75–85 kg, a uterus of 48–50 kg. Wool generallyly of the 64th quality, length is 8–8,5 cm. I clipped in physical weight from rams 10 kg, from a uterus of 4,0 kg. For the last 20 years there was obvious an inefficiency of specialization of branch only on production of wool, in the present time to make mutton became economic therefore increase of energy of growth, improvement of meat forms and increase in meat efficiency of the South Kazakh merino became our priority. In 2010 for improvement of meat and wool efficiency of the South Kazakh merinos from Almaty region two rams of breed «Etti merino» were delivered, in 2011 20 heads were repeatedly acquired. Use of manufacturing rams « Etti merino» in farms of the Southern Kazakhstan area on a uterus of the South Kazakh merinos showed that the received issue is characterized as large with a high live mass of lambs, thus fertility of a uterus increases by 2,5–3,0%, the survival of lambs is 2,7–3,0% up to one beating higher.

Keywords: the South Kazakh merino, productivity, live weight, clipped wool, length of wool, wool tannin, the line

В Казахстане овцеводство исторически всегда было неотъемлемой частью народного хозяйства, обеспечивающей его потребности в специфических видах сырья и про-

дуктах питания, что обусловлено суровыми природно-климатическими условиями, социально-экономическими и национальными особенностями нашей страны.

Стабилизация и дальнейшее развитие отрасли в современных условиях требует её адаптации к внутреннему и внешнему рынкам. В настоящее время необходимо пересмотреть роль и значение овцеводства в агропромышленном комплексе Казахстана, поставить продукцию отрасли на одну ступень с продукцией других отраслей животноводства.

Южно-Казахстанская область является самой густонаселенной частью нашей республики: 2,7 млн человек, или 15,0% от общего количества населения. Площадь области составляет 117,3 тыс. км², или 4,3% территории республики. Общее поголовье овец по Казахстану составляет 17,9 млн голов, из них в регионе сосредоточено 3,8 млн, или 21,2%, в сравнении с Алматинской областью (3,05 млн голов – 17,3%); ВКО (2,3 млн голов – 12,8%); Жамбылская область (2,3 млн голов 12,8%). Из 297 хозяйств, имеющих племенной статус, 90 сельхозформирований в ЮКО – 30,3%, в Алматинской области 36 хозяйств – 12,1%, то есть по численности овцепоголовья Южно-Казахстанская область находится на ведущей позиции. Поэтому значение и роль региона в обеспечении бараниной отечественного рынка и его экспорта в масштабах государства огромна [1]. По данным Казахского института питания, суточная потребность питания человека в мясе, в зависимости от возраста, составляет 100–150 граммов, из них 45–55% должна быть баранина или же 16,4–30,1 кг. В республике на душу населения производится 12 кг баранины, что далеко не соответствует рекомендуемым нормам, но даже в этом случае только по Южно-Казахстанской области необходимо производство 30,0 тыс. тонн баранины в год. Для сравнения, в мире потребляют баранину: в Новой Зеландии – 31 кг; Монголии – 25,5 кг; ОАЭ – 15,5 кг; Иран 5,5 кг; Саудовская Аравия – 3,0 кг.

Цель исследования – разработка селекционно-генетических методов повышения генетического потенциала куюкского внутривидового типа южноказахских мериносов с высокой тониной шерстного волокна и выраженными мясными характеристиками.

Материалы и методы исследования

Научно-исследовательская и селекционно-племенная работы по разработке и совершенствованию методов селекции и созданию стад тонкорунных овец с высокой тониной шерстного волокна и выраженными мясными характеристиками проводились в ПК «Шарбулак», к/х «Самат» и ТОО «КазыгуртАгросер-

вис» Казыгуртского района на матках южноказахских мериносов, где имеются более 5500 гол. овец, методом чистопородного отбора и подбора желательного типа, а также скрещиванием с баранами породы «Етті меринос», с целью улучшения мясной продуктивности южноказахских мериносов в 2010 году из Алматинской области были завезены два барана-производителя данной породы, а в 2011–2012 гг. – 35 голов.

Определения продуктивности и биологических особенностей (рост и развитие ягнят), настрига, длины и тонины шерстных волокон, выхода чистого волокна (лабораторные условия) и бонитировка овец проводились по общепринятым методикам. Рост и развитие молодняка изучены по методике Е.Я. Борисенко [2], скороспелость, откормочные и мясные качества, а также шерстные – по методике ВИЖа [3, 4, 5].

Результаты исследования и их обсуждение

В мире производится 275,8 млн тонн мяса, из них основной удельный вес 37% (100,9 млн тонн) составляет свинина, 34% (93,3 млн тонн) – мясо птицы, 24% (65,2 млн тонн) – говядина, и 3% (8,4 млн тонн) – баранина. В нашей республике производство баранины составляет 15–20%, то есть производство мяса баранины занимает больший удельный вес в сравнении с мировым производством, так как тому способствуют исторически сложившиеся национально-культурные традиции казахского народа в питании и образе жизни сельского населения. Поэтому развитие овцеводческой отрасли имеет большое общегосударственное значение в улучшении экономического благосостояния местного населения, занимающегося животноводством.

Для получения быстрого эффекта и скорой отдачи желательно использовать существующие специализированные мясо-шерстные породы и путем прилития кровей, частичного поглощения местных пород создавать новые районированные породы мясных овец. Наша республика характеризуется резко континентальным климатом, поэтому максимальную продуктивность могут давать и плодотворно размножаться только те животные, которые приспособлены к местным климатическим условиям и кормам.

Первые шаги в этом направлении были сделаны в Алматинской области. В 2002 году в Казахстан были завезены бараны породы дойче меринофлейшшаф и в 2005 году австралийские мясные мериносы, дони (южно-африканского мясного мериноса). С их использованием была создана и успешно апробирована отечественная порода мясного мериноса «Етті меринос». Использование на матках казах-

ской тонкорунной породы показало, что их плодовитость повысилась на 5–10%, живая масса потомства увеличивалась на 10–15%. В 4-месячном возрасте живая масса баранчиков составила 40 кг, при среднесуточном приросте на откорме 350–450 г. При убое баранчиков в 4-месячном возрасте получены тушки со средней массой 16,9 кг, что на 10–12% выше чем у ягнят казахской тонкорунной породы.

Нет сомнений в том, что именно такие животные и являются сегодня конкурентоспособными и отвечающими современным все возрастающим требованиям рынка. Именно так и должны будут выглядеть казахские мясные мериносы. Нет сомнений в том, что порода эта нужна, и она будет востребована.

В Южно-Казахстанской области разводят тонкорунных овец породы южноказахский меринос шерстно-мясного направления продуктивности. Шерсть в основном 64-го качества, длина 8–8,5 см. Настриг с баранов 10 кг, с маток 4,0 кг. Выход мытой шерсти около 50%. Бараны-производители весят 80–100 кг, матки 54–56 кг. Плодовитость в среднем 115 ягнят на 100 маток. В процессе совершенствования породы, изучении фенотипических и продуктивных качеств оказалось, что имеются недостатки по мясной продуктивности, недостаточна выраженность мясных форм. Поэтому было принято решение, в связи с тенденциями развития мирового тонкорунного овцеводства, селекционно-племенную работу усилить в направлении повышения мясной продуктивности и улучшения шерстной продуктивности, производства шерсти 64–70 качества, с доведением её доли в стадах до 40%.

Для осуществления поставленной цели, в 2008–2009 гг. сотрудниками сектора тонкорунного овцеводства ТОО «Юго-Западный НИИ животноводства и растениеводства», с целью повышения мясной продуктивности и улучшения шерстных качеств южноказахского мериноса были использованы в хозяйствах ТОО «Карабау» Казыгуртского, ПК «Бирлик» Толебийского районов замороженная сперма баранов-производителей породы полварс австралийской селекции, приобретенная в ТОО «Асыл түлік» г. Астана.

В 2010 году для дальнейшего улучшения мясной и шерстной продуктивности южноказахских мериносов из ОО «Етті меринос» Алматинской области были завезены два барана-производителя новой мясной тонкорунной породы «Етті меринос» в ТОО

«Кызылтан-П» Казыгуртского района. Завезенные бараны имели следующие характеристики: живая масса у барана № 02047–109,0 кг, у барана № 02130 – 100,0 кг, длина шерсти соответственно 11,5; 105 см. В 2011 году через СПК «Жетысу асыл туқым» повторно были приобретены 20 голов полутороговых баранов-производителей «Етті меринос» и использованы в ТОО: «КазыгуртАгросервис», «Кызылтан-П», «Самат-Сапа» Казыгуртского, «Сабит-А» Арысского районов. Баранчики имели живую массу – 67–75 кг. Шерсть густая, крепкая, длина шерсти 10,5–11,5 см; тонина шерсти 21–23 мкм (70–64 качества).

В результате использования баранов-производителей мясных мериносов и методов селекции при чистопородном разведении ожидается улучшение мясной продуктивности и в перспективе создание тонкорунных овец с выраженными мясными характеристиками и мериносовой шерстью с высокой тониной шерстного волокна.

У баранов-производителей в зависимости от хозяйств живая масса составляла 88,3–90,5 кг, настриг шерсти 8,2–8,9 кг, длина шерсти 10,4–10,6 см, тонина – 22–25 мкм, соответственно, у овцематок соответственно – 53,5–56,8 и 4,0–4,3 кг, 9,5–9,4 см, 21–23 мкм, ярк – 38,1–39,8 и и 3,8–3,6 кг, 9,5–9,6 см, 19–23 мкм.

В разрезе хозяйств наибольший выход племенных ярок наблюдается в стаде ПК «Шарбулак» – 81,6%, немного меньше ТОО «КазыгуртАгросервис» и «Самат» – соответственно 80,5 и 79,2%, наименьший ПК «Бирлик» и ПК «Сабит-А» – 74,1 и 70,5%.

Определены продуктивные качества 1/4 кровных помесей по породе «Етті меринос» в сравнении с чистопородными южно-казахскими сверстницами. У помесных баранчиков класса элита живая масса составила 61,3 кг, I класса – 58,8 кг, ярк – соответственно 45,9 и 41,2 кг, а у чистопородных сверстников и сверстниц, соответственно 60,5 и 58,1 кг, 45,3 и 39,7 кг. Настриг шерсти годовалых помесных баранчиков в среднем составил 5,4 кг, у ярок – 3,8 кг, а у чистопородных больше, у годовалых баранчиков – 5,6 и 4,6 кг.

Помеси имели превосходство по живой массе при рождении и особенно в возрасте 4 месяца: баранчики – 1,5–2,1 кг, ярочки – 1,4–1,7 кг. Среднесуточный прирост живой массы у помесных баранчиков составил 255 г, ярк – 230 г, что, соответственно на 6,2 и 5,1% больше, чем у чистопородных ягнят.

Определена продуктивность потомства от межпородного скрещивания южноказах-

ских мериносов с баранами породы «Етті меринос» 1/2, 1/4, 3/4 кровностей по улучшающей породе при рождении и в 4-месячном возрасте.

Заложены линии на трех высокопродуктивных баранов-производителей: I линия – крупные мясные овцы с высокой тониной шерстного волокна, II линия – крупные тонкорунные овцы мясного типа, III линия – крупные тонкорунные овцы шерстного типа. Создана селекционная группа маток 820 голов. Поэтому предлагаемые мероприятия по совершенствованию южноказахских мериносов должны способствовать не только сохранению, но и дальнейшему развитию тонкорунного овцеводства в данном регионе, а также повышению её конкурентоспособности. В последние годы предпринятые Правительством меры по поддержке тонкорунного овцеводства в виде дотаций и субсидий дают надежду на повышение интереса и дальнейшее развитие отрасли.

Выводы

Использование баранов-производителей «Етті меринос» в хозяйствах Южно-Казахстанской области на матках южноказахских мериносов показал, что полученный приплод характеризуется высокой живой массой, при этом их плодовитость овцематок увеличивается на 2,5–3,0%, выживаемость ягнят до отбивки – на 2,7–3,0%.

Список литературы

1. Борисенко Е.Я. Разведение сельскохозяйственных животных // 4-е издание. – М.: Колос, 1967. – С. 46–440.
2. Ескара М.А. Овцеводство юга Казахстана. «Инновации и научное пространство: теория, исследования и практические решения» – Материалы международной научно-практической конференции. – Шымкент: Университет «Мирас», 2013. – С. 3–6.
3. Инструкция по бонитировке овец тонкорунных пород с основами племенной работы. – М., 1985. – 63 с.
4. Методика оценки мясной продуктивности овец // ВИЖ. – М.: Дубровицы, 1970. – 50 с.
5. Методические указания по исследованию шерсти овец // ВИЖ. – М.: Дубровицы, 1958. – 52 с.

УДК 633.1/68.35.29

РОЛЬ ОТДЕЛЬНЫХ АГРОПРИЕМОМ В ФОРМИРОВАНИИ УРОЖАЯ *FAGOPYRUM ESCULENTUM* MOENCH. В ЛЕСОСТЕПИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Важов В.М., Козил В.Н., Важов С.В.

*ФГБОУ ВПО «Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина», Бийск,
e-mail: vazhov49@mail.ru*

Посевы гречихи в Алтайском крае в 2014 г. достигли 464,4 тыс. га, что составляло почти половину посевной площади этой культуры в России. Самый большой в регионе посевной клин гречихи находится в лесостепи (63%) и в предгорьях (21%). Однако урожайность данной культуры на Алтае не превышает 10 ц/га при биологическом потенциале 30 ц/га. Высокая концентрация посевных площадей требует совершенствования зональной агротехники, где удобрениям отводится важное место. Исследования в лесостепи Алтайского края показали, что лучшей нормой минеральных удобрений можно считать $N_{30}P_{30}K_{30}$. Урожайность зерна гречихи в этом случае составляла 13,0 ц/га, на контроле – 7,9 ц/га. Некорневая подкормка в начале фазы бутонизации повышала урожайность культуры до 16,5 ц/га. Среди изучаемых сортов «Дикуль», «Диалог» и «Дизайн» наиболее отзывчивым на торфо-гуминовые удобрения является «Дизайн», так как формирует 23,5 ц/га, на контроле – 14,5 ц/га. Предпосевная обработка семян торфо-гуминовыми препаратами в зависимости от сорта способствовала росту положительного эффекта удобрений на 36–57%. Применение торфо-гуминовых удобрений экономически выгодно, себестоимость зерна по «Дизайну» самая низкая – 434,5 руб./ц, а рентабельность лучшая – 92%.

Ключевые слова: гречиха, Алтайский край, агротехника, удобрения, сорта, урожайность

THE ROLE OF INDIVIDUAL AGRICULTURAL PRACTICES IN CROP FORMATION *FAGOPYRUM ESCULENTUM* MOENCH. IN THE FOREST ALTAI TERRITORY

Vazhov V.M., Kozil V.N., Vazhov S.V.

FGBOU VPO «Altai State Academy of Education V.M. Shukshin», Biysk, e-mail: vazhov49@mail.ru

The crops of buckwheat in the Altai region in 2014 reached 464,4 thousand. Ha, which is almost half the cultivated area of this culture in Russia. The largest in the region, planting buckwheat wedge is in the forest (63%) and in the foothills (21%). However, the yield of this crop in the Altai region does not exceed 10 c/ha in biological potential of 30 c/ha. The high concentration of acreage requires improvement of farming zone where fertilizer is given an important place. Research in the forest-steppe of the Altai Territory has shown that the best rate of fertilizers can be regarded as $N_{30}P_{30}K_{30}$. The yield of buckwheat in this case amounted 13,0 c/ha, in the control group – 7,9 c/ha. Foliar in the early phase of budding increased the crop yield up to 16,5 c/ha. Among the studied varieties «Dikul», «Dialogue» and «Design» is the most responsive to the peat-humic fertilizers is «Design» as forms of 23,5 c/ha, in the control group – 14,5 c/ha. Seed pre-treatment peat-humic substances depending on the variety has contributed to the growth of the positive effect of fertilizers on 36–57%. Peat-humic fertilizers are cost-effective, the cost of grain at «Design» lowest – 434,5 rub. / c, and the best profitability – 92%.

Keywords: buckwheat, Altai region, agricultural machinery, fertilizers, varieties, yield

Алтайский край является ведущим регионом Российской Федерации по производству зерна гречихи (*Fagopyrum esculentum* Moench.). Площади посевов этой культуры на Алтае в 2014 г. достигли 464,4 тыс. га [7], что составляло почти половину посевной площади гречихи в стране. Несмотря на высокие продовольственные достоинства и востребованность гречихи на зерновом рынке, урожайность ее на Алтае не превышает 10 ц/га при биологическом потенциале 25–30 ц/га, что во многом связано с плохими погодными условиями и слабой технологической дисциплиной в агротехнике [1].

Максимальные посевы гречихи в Алтайском крае традиционно сосредоточены в лесостепи (63%) и в предгорьях (21%), где имеются наиболее благопри-

ятные агроэкологические ресурсы для выращивания данной культуры. Оставшаяся часть посевов приходится на степные районы. Высокая концентрация посевных площадей требует совершенствования зональных технологий возделывания культуры [9].

Цель исследования

Развитие научных и практических основ сортовой агротехники гречихи путем комплексной технологической оценки.

Материалы и методы исследования

Полевые исследования проводились в 2009–2015 гг. в хозяйствах Целинного района, типичном для лесостепи Алтайского края.

Подбор сорта, соответствующего по своим биологическим свойствам зональным условиям выращивания – одно из важнейших мероприятий, на-

правленных на достижение высоких урожаев зерна. Представляет интерес новый сорт «Дизайн», пока еще мало распространенный на Алтае, поэтому он включен нами в схему полевых опытов. Объект исследований – гречиха посевная «Дикуль», «Диалог» и «Дизайн». Особое внимание уделялось изучению минеральных и органических удобрений, предпосевной обработке семян торфо-гуминовыми препаратами, срокам и способам посева, нормам высеву, а также некорневой подкормкам и дополнительному опылению. Остальные агротехнические приемы были общепринятыми для возделывания гречихи в лесостепной зоне Алтайского края.

В опыте по изучению предпосевной обработки семян и торфо-гуминовых удобрений семена перед посевом обрабатывались препаратом «ФИТОП-ФЛОРА-С» за неделю до посева путем опрыскивания. На контрольных вариантах семена обрабатывались чистой водопроводной водой.

Повышение урожая зерна обуславливает тенденцию к снижению качества продукции вследствие уменьшения содержания в почве питательных веществ. Эффективный способ решения проблемы – некорневая подкормка торфо-гуминовыми удобрениями, использование которых в последнее время расширяется без соответствующих зональных рекомендаций. Для первой и третьей некорневых подкормок использовалась «ФЛОРА-С», для второй – «ФИТОП-ФЛОРА-С».

За основу опыления цветков гречихи взяты медоносные пчелы из расчёта 2–3 пчелосемьи на 1 га. Такое количество обеспечивает удельную плотность пчелоопыления на уровне 150–200 особей на 1 м² посевов.

В связи с низкой урожайностью гречихи возникла необходимость изучения эффективности различных приёмов её искусственного доопыления.

Почва опытных участков представлена чернозёмом выщелоченным, содержание гумуса – 5–6%. Площадь учётных делянок в зависимости от задач исследований составила – 18, 64 и 846 м², повторность опытов – 4-кратная, размещение вариантов по делянкам опытных участков – систематическое, в один ярус. Учёты и наблюдения – общепринятые в земледелии и растениеводстве.

При систематизации материалов наблюдений и экспериментов, обобщении отдельных вопросов возделывания гречихи, посевных площадей и урожайности использованы литературные источники, информация Алтайкрайстата, а также опыт передовых хозяйств.

Результаты исследования и их обсуждение

Эффективность земледелия оценивается с учётом многих показателей среды обитания растений [5], среди них погодные условия являются особенно важными. Анализируя метеорологические условия, сложившиеся по годам исследований, можно отметить существенную изменчивость отдельных показателей и их отклонение от средних многолетних данных. Наиболее неудачными в последние годы для формирования урожая гречихи на Алтае были 2013–2014 гг.

В многолетнем ряду вегетационный период 2013 г. был экстремальным по увлажнению – осадков выпало в 1,5 раза больше (соответственно 212 и 322 мм). Благодаря тому, что 1-я декада июня выдалась сухой, гречиху во многих хозяйствах удалось посеять в близкий к оптимальному срок (7–10 июня). Однако последующее переувлажнение почвы за счет избыточных осадков снизило интенсивность плодообразования, негативно отразилось на уборке гречихи и, в целом, на производстве зерна.

Метеорологические показатели 2014 г. были также неблагоприятными для гречихи: в конце вегетации отмечены ранние продолжительные дожди, перешедшие в преждевременно выпавший снег (9 октября), который вскоре растаял, но следующее выпадение снега отмечено уже 14, 18 и 27 октября, окончательный снежный покров установился 8 ноября. Избыточные и продолжительные дожди, систематическое выпадение снега в октябре повлекло невозможность уборки гречихи в хозяйствах края, где практикуются поздние посевы, они ушли под снег. По разным данным, погодные условия привели к недобору на Алтае более 100 тыс. тонн зерна, что составило почти треть производимого объема культуры в регионе. Многие производители гречихи убрали ее весной 2015 г., после перезимовки, однако количественные и качественные показатели зерна были невысокими.

Анализируя погодные условия, следует отметить, что среднесуточная температура воздуха в период массового цветения (июль) практически соответствовала многолетним показателям во все годы, это способствовало достаточно активной работе опылителей [2].

Исследования 2009–2012 гг. показали, что хорошая полевая всхожесть семян (63–68%) и сохранность растений к уборке (76–85%) обеспечивались внесением минеральных удобрений N₃₀P₃₀K₃₀, посевом гречихи 5–10,06 широкорядным способом (0,45 м) [3].

Показатели всхожести семян гречихи существенно зависели и от применения торфо-гуминовых удобрений, которые в опытах 2013–2014 гг. повышали всхожесть на 10–12%. Отсутствие удобрений снижало полевую всхожесть до 64–72%, а сохранность – до 72–76%. Показатели всхожести семян гречихи в меньшей степени связаны с сортовыми особенностями. Сохранность растений во всех опытах можно считать

достаточно высокой (73–92%), учитывая уровень окультуренности полей и неблагоприятные метеорологические условия, сложившиеся вскоре после всходов растений.

Гречихе свойственна широкая динамичность раскрываемости цветков [4]. Подсчёты показали, что максимум раскрывшихся цветков в условиях лесостепи Алтая характерен для первой половины фазы массового цветения (238–633 шт./раст.), меньшее их количество раскрывалось в начале этой фазы (91–166) и резкая убыль (23–45 шт./раст.) отмечалась в конце. Единичные цветки гречихи имелись на растении и в более поздние фазы роста и развития, вплоть до конца вегетационного периода. Следует отметить положительный эффект применения торфо-гуминовых удобрений, в сравнении с их отсутствием: в зависимости от периода роста и развития растений эффект достигал от 22 до 57%. Сорта «Диалог» и «Дизайн» в фазу цветения имели лучшие показатели – формировали около 600 шт./раст.

Для уточнения литературных сведений по посещаемости опылителями цветков гречихи в лесостепи Алтая нами выполнены специальные учёты. Наблюдения за опылительной деятельностью медоносных пчёл в опыте показали, что они активнее посещали гречиху в первую половину массового цветения, когда раскрывалось большее количество цветков. Во вторую половину фазы в связи со снижением интенсивности цветения насыщенность посевов пчёлами в зависимости от агрофона уменьшалась. В период массового цветения гречихи сорта «Диалог» в течение дня ее посетили от 430 до 600 насекомых на 100 м² посева, по сорту «Дизайн» показатели выше – 470–620.

Нами установлена определённая закономерность посещаемости пчёлами цветков гречихи в течение дня. Так, в утреннее время количество насекомых небольшое и почти не отличается по сортам (50–80 особей). К полудню оно резко возрастало с существенными различиями по вариантам посева, достигало максимума в 13–14 час. (130–220 особей), затем уменьшалось в вечернее время до 50–80 пчёл на 100 м² посева.

Недоучёт технологических особенностей зональной системы земледелия при возделывании гречихи сдерживает наращивание объёмов производства зерна, негативно сказывается на почвенном плодородии. Известно, что предупредить почвенные эрозионные процессы, восстановить плодородие почвы и повысить урожайность сель-

скохозяйственных культур можно на основе комплекса агрометеорологических приемов [8]. В гумидных условиях Алтая важное значение в агротехнике гречихи приобретает система удобрений и приемы искусственного доопыления. Их совершенствование позволит стабилизировать урожайность, которая существенно изменяется во времени [10]. В период с 2007 по 2012 гг. данный показатель минимального значения (5,9 ц/га) достигал в 2012 г., максимального (9,6 ц/га) – в 2009 г. Значительное влияние на такую динамику оказали погодные условия.

Исследования 2009–2012 гг. показали, что близкой к оптимальной норме минеральных удобрений гречихи можно считать $N_{30}P_{30}K_{30}$. Урожайность зерна в этом случае составляла 9,5–13,0 ц/га. Лучше всего биологическим особенностям культуры отвечал посев в 1-й декаде июня (5–10,06), так как выход зерна с 1 га достигал от 10,6 до 13,3 ц.

Наиболее целесообразным способом посева гречихи является ширококряжный (0,45 м), в этом случае урожайность максимальная – 12,6–14,2 ц/га. Эффективной нормой высева гречихи можно считать 3,5 млн всх. зёрен на 1 га, так как урожайность самая высокая – 14,2 ц/га.

Некорневая подкормка гречихи на вариантах с опылением целесообразна в начале фазы бутонизации, урожайность составляла 16,5 ц/га. Эффективность опыления гречихи можно повысить искусственным доопылением, урожайность возрастала до 18,4 ц/га.

Лучшие прибавки урожая зерна гречихи получены: от минеральных удобрений $N_{30}P_{30}K_{30}$ и срока посева 5–10,06 – 64%; от ширококряжного способа посева (0,45 м) и нормы высева – 3,5 млн всх. зёрен на 1 га – 36%; от внекорневой подкормки в начале бутонизации и доопыления – 534%.

Гуминовые удобрения являются эффективным средством повышения урожайности полевых культур, так, обработка рапса флоргуматом повышает его урожайность в Волгоградской области на 0,61 т/га [6]. Наши исследования в лесостепи Алтая также позволяют сделать суждение о том, что применение торфо-гуминовых удобрений положительно влияет и на урожайность гречихи. В этом случае создаются благоприятные условия питания, лучше развиваются растения и формируется хороший урожай зерна. Сорт «Дизайн» имеет преимущество перед другими изучаемыми сортами. На лучшем агрофоне средняя урожайность в 2013–2014 гг. составила 23,5 ц/га, на контроле данный сорт снизил выход зерна до

14,5 ц/га. Торфо-гуминовые удобрения обеспечили повышение урожайности по сортам на 21–85 % при высокой окупаемости затрат. Предпосевная обработка семян способствовала росту положительного эффекта удобрений на 36–57 %.

Анализ урожайности гречихи сорта «Дизайн» в зависимости от предпосевного обогрева семян, некорневой подкормки и опыления говорит о том, что наиболее высокая урожайность в среднем за 2 года (2013–2014 гг.) достигала 26,1 ц/га, в то же время на контроле данный показатель был значительно ниже – 17,4 ц/га. Лучшую прибавку урожая сорта «Дизайн» обеспечивало доопыление растений – 77–109 %. Урожайность данного сорта в 2015 г. также варьировалась в зависимости от применяемых агроприемов и составляла 15–20 ц/га.

Наши исследования 2013–2014 гг. показали, что варианты с подкормкой гречихи в лесостепи Алтая в фазу бутонизации по урожайности выгоднее, как при свободном опылении, так и с доопылением цветков. Средняя урожайность зерна достигала: при опылении – 19,6 ц/га, при доопылении – 24,9 ц/га. Незначительное преимущество вариантов с двойной и тройной подкормками не окупало затраты на удобрения. Варианты без подкормки имели меньшую урожайность. Следовательно, для интенсивного плодообразования гречихи в лесостепи Алтая необходимо проводить своевременную некорневую подкормку торфо-гуминовыми удобрениями, опыление и доопыление, что существенно увеличивает выход зерна.

Эффективность возделывания гречихи в лесостепи Алтайского края повышается в том случае, если в результате применяемых агротехнических приёмов отмечается экономическая оправданная прибавка урожая.

Затраты на производство зерна в 2009–2012 гг. на лучших вариантах составляли 5286 руб./га, а себестоимость 1 ц – 372,2 руб. Основные затраты слагались за счёт удобрений (1800 руб./га), амортизации (1160 руб./га и более), нефтепродуктов (700 руб./га и более), условно-чистый доход возрастал до 1601,4 руб./ц, а рентабельность превысила 300 %. Здесь же отмечено лучшее содержание валовой энергии в урожае – 23630 тыс. МДж/га, самая низкая энергоёмкость зерна – 791,0 МДж/ц, хороший прирост валовой энергии – 12390 МДж/га и более высокий энергетический коэффициент – 2,10.

Расчёты показали, что экономически выгоднее использовать торфо-гуминовые

удобрения. Затраты на производство гречихи в этом случае существенно возрастают, однако за счёт повышения урожайности себестоимость 1 ц зерна по сортам достаточно низкая – по «Дизайну» она составила 434,5 руб. Условно-чистый доход на этом варианте (1021,0 руб./ц) оказался выше, чем на других, а рентабельность лучшей – 92 %.

Несмотря на высокую стоимость торфо-гуминовых удобрений, выращивание этой культуры в лесостепи Алтая экономически выгодно. Применение удобрений и предпосевная обработка семян позволили существенно снизить себестоимость зерна и увеличить рентабельность производства гречихи.

В решении проблемы рационального использования энергетических ресурсов в земледелии важная роль принадлежит анализу энергетических потоков. Важность учёта энергозатрат заметно повышается в условиях дефицита энергетических ресурсов, необходимости их экономии и рационального использования, что актуально для земледелия в целом.

Сравнение энергетической эффективности приёмов возделывания гречихи в наших опытах с сортами показало, что наиболее существенные различия, в сравнении с «Дикулем», характерны для сорта «Дизайн». Так, минимальные затраты совокупной энергии получены на контроле – 12813 МДж/га. С применением торфо-гуминовых удобрений и обработкой семян перед посевом затраты энергии возросли и достигали максимальных значений – 22132 МДж/га на вариантах, где высевался сорт «Дизайн». Высокое содержание валовой энергии в урожае отмечено по «Диалогу» и «Дизайну» – 34350–40384 МДж/га, здесь же получены достаточно хорошие показатели энергоёмкости зерна.

При значительно различающихся затратах совокупной энергии на выращивание гречихи (12813–22132 МДж/га) торфо-гуминовые удобрения и предпосевная обработка семян обеспечили лучший прирост валовой энергии – 13787–18252 МДж/га и более высокий энергетический коэффициент – 1,67–1,83.

Выводы

Разработка научных и практических основ сортовой агротехники гречихи в условиях лесостепи Алтайского края говорит о том, что успех урожая в значительной степени определяется отдельными технологическими элементами. Так, применение

торфо-гуминовых удобрений, в зависимости от предпосевной обработки семян, способствует формированию урожая: по сорту «Дикуль» – 14,3–19,5 ц/га; по сорту «Диалог» – 17,5–20,6 ц/га; по сорту «Дизайн» – 21,9–23,5 ц/га. Искусственное доопыление увеличивает урожайность зерна от 19,2 до 24,9 ц/га.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках базовой части государственного задания (НИР № 353), а также темы НИР «Совершенствование землепользования в лесостепи Алтайского края на основе биологических факторов», номер госрегистрации 01201154485.

Список литературы

1. Важов В.М. Гречиха на полях Алтая: монография / В.М. Важов. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2013. – 188 с.
2. Важов В.М. Гречиха на землях Алейской степи / В.М. Важов, А.В. Одинцев, Т.И. Важова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. URL: www.science-education.ru/116-12227 (дата обращения: 11.10.2015).
3. Важов В.М. Продуктивность гречихи в агроценозе: монография / В.М. Важов, А.В. Одинцев, В.Н. Козил. – Бийск: ФГБОУ ВПО «АГАО», 2014. – 415 с.
4. Важов В.М. Способ выращивания гречихи: патент РФ на изобретение № 2543269 / В.М. Важов, М.М. Тырышкин, Д.М. Панков, В.Н. Козил, А.В. Одинцев, А.Н. Козел. Заявл. 09.07.2013; опубл. 27.02.2015. Бюл. № 6.
5. Важов С.В. Общая экология: учебное пособие / С.В. Важов. – Бийск: ФГБОУ ВПО «АГАО», 2015. – 193 с.
6. Егорова Г.С. Влияние альбита, флоргумата и акварина на урожайность сортов рапса на светло-каштановых почвах Волгоградской области / Г.С. Егорова, О.В. Плакушева // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – № 3 (39). – С. 56–60.
7. Информация Алтайкрайстата. – № ВТ–22–22/708 – ДР от 02.10.2015. – 2 с.
8. Кружилин И.П. Сочетание орошения дождеванием с агромелиоративными приемами обеспечивает сохранение и повышение плодородия почвы / И.П. Кружилин, Н.В. Кузнецова, О.В. Козинская // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 57–1. – С. 84–89.
9. Фесенко А.Н. Селекция детерминантных скороспелых сортов как фактор повышения производства гречихи в России / А.Н. Фесенко // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2015. – № 2(14). – С. 46–52.
10. Vazhov V.M. Distribution of sowing and buckwheat crop capacity in Altai with regard to environmental conditions / V.M. Vazhov, A.V. Odintsev, V.N. Kozil // Life Science Journal. – 2014. – № 11(10). – P. 552–556.

УДК 504.06

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ВОСПИТАНИИ СТУДЕНТОВ

Аничкина Н.В.

*ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный педагогический университет», Липецк,
e-mail: nina-viktorowna@mail.ru*

В двадцать первом веке лимитирующим фактором развития экономики многих стран мира стала вода. Вода, её количество и качество во многом определяют уровень жизни населения. Там, где в достаточном количестве представлены качественные водные ресурсы, повышается качество жизни населения, развивается сельское хозяйство и промышленность. Знание о местных водных ресурсах, их состоянии, использовании, сбережении и охране должно стать неотъемлемой частью экологического образования студентов. По решению Генеральной Ассамблеи ООН, наша планета с 22 марта 1993 года ежегодно отмечает «Всемирный день водных ресурсов». Для проведения этого мероприятия мною разработан цикл лекций для студентов. Исходным материалом для лекций являются результаты наших собственных полевых исследований. Основная цель моих лекций – это показать значимость практических исследований воды и вовлечь студентов в научную деятельность. В ходе проведения интерактивных лекций мною решаются следующие задачи: привлечение внимания слушателей к вопросам освоения, сбережения, охраны и рационального использования водных объектов и ресурсов.

Ключевые слова: вода, геоэкология, гидрографическая сеть, пойменные озера, водохранилища, реки, подземные воды, минеральные воды

USING RESEARCH RESULTS OF WATER RESOURCES IN LIPETSK REGION IN ECOLOGICAL EDUCATION OF STUDENTS

Anichkina N.V.

Lipetsk state pedagogical university, Lipetsk, e-mail: nina-viktorowna@mail.ru

In the twenty first century water became the limiting factor to development of economy in many countries of the world. Water, its quantity and quality in many respects define living standard. There where is enough water resources illnesses recede, the agriculture and the industry develops. The knowledge of local water resources, their condition, usage and protection should become an integral part of ecological education of students. Under the decision of General Assembly of the United Nations our planet since March, 22nd, 1993 annually celebrates «the World day of water resources». To carry out this action a series of lectures for students is developed. The initial material for lectures were results of field researches. The main aim of the lectures is to show the importance of practical researches on water and to involve students in scientific activity. During carrying out of interactive lectures I solved such problems as attraction attention of listeners to questions of development, saving, protection and rational use of water objects and resources.

Keywords: water, Geoecology, a hydrographic network, inundated lakes, water basins, rivers, underground waters, mineral waters

Большую часть нашей планеты занимает вода, и все живые организмы имеют в своем составе воду. Современные научные исследования воды дают возможность рассматривать её как уникальное вещество. Она участвует во всех физико-географических, биологических, геохимических и геофизических процессах, происходящих на Земле, является движущей силой многих глобальных процессов на планете. Водный баланс тесно связан с тепловым балансом, при этом влагооборот равномерно распределяет тепло между его сферами, а также регионами Земли, что имеет большое значение для всей географической оболочки [6].

Знание о местных водных ресурсах, их состоянии, использовании, сбережении и охране должно стать неотъемлемой частью экологического образования студен-

тов. В ФГБОУ ВПО «ЛГПУ» ежегодно отмечается «Всемирный день водных ресурсов». Решением Генеральной Ассамблеи ООН он отмечается с 22 марта 1993 года. В рамках проведения этого мероприятия мною разработан цикл лекций для студентов, проживающих в общежитии. Мероприятие проводится в помещении студенческого совета общежития, и на нём присутствуют студенты с разных факультетов, в том числе и приехавшие на обучение со стран Азии, Африки и Европы. Исходным материалом для лекций являются результаты наших собственных полевых исследований, выполненных совместно со студентами и лёгшими в основу выполнения курсовых и выпускных квалификационных работ. Основная цель моих лекций – это показать значимость практических исследований мест-

ных водных объектов и вовлечь студентов в научную деятельность. В ходе проведения интерактивных лекций мною решаются следующие задачи: привлечение внимания слушателей к вопросам освоения, сбережения, охраны и рационального использования водных объектов и ресурсов.

Характеристика гидрографической сети Липецкой области

Территориально Липецкая область расположена на стыке Средне-Русской возвышенности и Окско-Донской низменности и имеет хорошо развитую гидрографическую сеть. На ее территории насчитывается 127 рек длиной свыше 10 км и 212 речек длиной менее 10 км. Наиболее крупными реками являются Дон с притоками Красивая Меча, Быстрая Сосна, Снова; Воронеж с притоками Становая Ряса, Матыра. Реки Липецкой области, за исключением реки Ранова, принадлежат к бассейну Атлантического океана. До середины пятидесятых годов двадцатого века в Липецкой области по Дону ходили баржи и небольшие речные суда, судоходно было и русло реки Воронеж от села Доброе до города Липецка.

Направление и характер течения рек области зависят от характера рельефа. Правые притоки Дона, стекающие со Среднерусской возвышенности, имеют значительный уклон, быстрое течение, хорошо выраженную глубинную и боковую эрозию. Реки, протекающие по Окско-Донской низменности, имеют небольшие уклоны, у них преобладает боковая эрозия.

Реки области относятся к типу рек со смешанным питанием. Зимой реки питаются главным образом за счет подземных источников, весной – снеговыми водами, летом – дождевыми. В большинстве случаев истоками рек Липецкой области служат выходы подземных вод – ключи. Реки Липецкой области имеют воду гидрокарбонатную, преимущественно слабо минерализованную. По режиму реки Липецкой области относятся к рекам с весенним половодьем. Вода рек используется для сельскохозяйственного орошения и для обеспечения водой промышленности.

На территории области насчитывается несколько сот озер. Располагаются они неравномерно. Наибольшее количество озер встречается в увлажненных местах – поймах рек. Наиболее крупные – Андреевское, Гать, Длинное, Долгое, Карасево, Лебяжье и Спаское.

Водохранилища также представлены на территории области [7]. Как правило, они невелики по размерам. Самое крупное водохранилище расположено в устье реки Матыры [5].

Липецкая область богата подземными водами. Основной водоносный горизонт залегает на глубине от 60 до 150 м в толще известняков девонского возраста. В пределах города Липецка имеются выходы нескольких источников.

Минеральные воды и их использование

Распространены хлоридно-сульфатные и натриевые подземные воды с минерализацией 4,0–4,5 г/л. По своим физическим и химическим свойствам эти минеральные воды относятся к лечебно-столовым. Эксплуатация подземных минеральных вод на территории города Липецка осуществляется с 1961 года. Минеральная вода Липецкого курорта применяется при лечении заболеваний желудочно-кишечного тракта. В настоящее время функционируют одиннадцать минеральных скважин. Минеральная вода разливается и поставляется в торговую сеть. Она стала своеобразным брендом Липецкой области [9].

Географическое положение и питьевое водоснабжение города Липецк

Современный город Липецк расположен в центральной части Восточно-Европейской равнины, на северо-восточном склоне Воронежской антеклизы. Город расположен на стыке границ Среднерусской возвышенности и Окско-Донской низменности. Высота центра города над уровнем моря около 160 м. В настоящее время город Липецк расположен на обоих берегах реки Воронеж. Город протянулся с севера на юг на 22 км и с запада на восток на 27 км. Занимает территорию 320 км² (по другим данным 318,12 км²), из них значительную часть занимает территория ОАО «НЛМК» [9]. Размеры Липецка превышают площадь десяти самых маленьких государств мира: Ватикана – 0,44 км²; Монако – 2 км²; Науру – 21 км²; Тувалу – 26 км²; Сан-Марино – 60 км²; Лихтенштейна – 160 км²; Маршалловых островов – 181 км²; Сент-Китса и Невиса – 269 км²; Мальдив – 300 км²; Гренады – 340 км².

Липецк полностью снабжается водой из подземных источников, но к сожалению, прослеживается тенденция к загрязнению их нитритами и нитратами. Негативное влияние на качество воды оказывают и из-

ношенные водопроводные трубы. Для обеззараживания воды на водозаборах используется гипохлорит натрия. Жесткость воды повышена, так как гидрохимический режим подземных вод формируется в трещинно-карстовых полостях карбонатных отложений верхнего девона. Внутренние воды являются богатством области, их использование дало толчок к заселению территории, развитию сельского хозяйства и промышленности.

Влияние подземных и поверхностных вод на рельеф города

На территории Липецка в пределах Среднерусской возвышенности, наиболее интенсивно развита овражная эрозия, плоскостной смыв, карст и оползни. В пределах Окско-Донской равнины, охватывающей Левобережный район города, преобладает суффозия, овражная эрозия и плоскостной смыв. Оползневые процессы на территории Липецка распространены достаточно широко. На активизацию оползневых процессов оказывает значительное влияние нерегулируемая хозяйственная деятельность. В январе 2009 года нами был описан оползень, сошедший в Каменном логу. Каменный лог – овраг, протянувшийся на 8 км через всю правобережную часть города и разделяющий её на две части. В последние годы появилась тенденция к застройке территории Каменного лога. Антропогенное вмешательство привело к возросшей нагрузке на склоны, что в свою очередь вызвало такие геологические процессы, как оползни. Один из них явился предметом нашего изучения. С помощью прибора GPS нами были определены его координаты: 52°36'31»с.ш. 39°35'18»в.д. Измерения показали, что коренной склон имел высоту 25–27 м, крутизну 25–30°. При исследовании оползня были обнаружены глинистые породы – типичные оползневые породы, для которых характерно свойство «ползучести», залегающие на известняках девонского возраста – карстующиеся породы. Общая длина оползня составляла 52 м. В его строении выделили следующие основные элементы: стенка отрыва (высота 1 м 85 см, ширина 16 м), поверхность скольжения (в данном случае смещение произошло не по четкой линии, а захватило зону смещения), подошва, оползневой цирк (S оползневого цирка 272 м²), оползневое тело (голова и язык) и оползневые накопления. На оползневом склоне можно

было наблюдать разрушенный бетонный забор, «пьяный лес», разорванные стволы деревьев, трещины, ориентированные вдоль склона.

Исследование реки Воронеж и её правых притоков в черте города Липецка

Поверхностные воды являются наиболее подвижным и чувствительным элементом геоэкологических систем, способным быстро реагировать на изменения в состоянии окружающей среды. Липецк имеет широко развитую речную сеть, принадлежащую бассейну реки Дон. Речная сеть во многом определяет планировочные решения нашего города. Основной водной артерией является река Воронеж, определяющая в значительной мере гидрогеологические условия города. Антропогенное воздействие отразилось на облике реки Воронеж. Основным источником питания являются атмосферные осадки. Воды реки Воронеж гидрокарбонатные кальциево-натриевые. Минерализация 360–640 мг/л. Вода средней жесткости – 3,4 мг экв. л. [1, 3]. В 1969 году на реке построен фиксирующий порог с отметкой 103,0 м. Так, выше порога было создано Липецкое озеро длиной около 4,5 км и шириной от 500 до 1000 м. В пределах города в реку Воронеж впадают два правых притока: река Липовка и Студёный ручей.

Каменный лог, по которому течёт река Липовка, до средней части имеет юго-восточное направление, затем меняет его на широтное. Длина лога 19 км. Река Липовка берёт начало от Липовских ключей, выходящих в русле Каменного лога, в 2,5 км от его устья. В настоящее время в связи с интенсивным водоотбором задонско-елецкого горизонта Липецкие ключи иссякли. Периодически исчезает вода и в источнике, который верующие считают святым. Ширина русла р. Липовки 6–15 м, глубина 0,2–0,3 м. До постройки плотины железоделательных заводов (она используется сейчас как дорога) Липовка впадала в Воронеж в районе Нижнего парка. То русло, которое сейчас идет на Манеж имеет искусственное происхождение и является по сути отводным каналом.

Нами были взяты на исследование пробы воды из реки Липовка и почвы из долины реки. Воду исследовали на содержание нитратов, хлоридов, почву – на содержание тяжелых металлов. Пробы воды взяты из истока речки Липовка, среднего течения, устья Липовки, из святого источни-

ка – Николая Чудотворца и из реки Воронеж выше и ниже впадения в него реки Липовки. В результате исследования проб воды выяснили, что содержание хлоридов не превышает нормы. А содержание нитратов превышает норму в истоке речки Липовки на 1,1 ПДК, в среднем течении – на 1,04 ПДК и в святом источнике – на 1,02 ПДК.

Органолептические пробы воды показали, что запах – плесневый, уровень интенсивности запаха – заметный (3 балла), степень прозрачности воды – крайне низкая, вкус – отчетливый (4 балла), с ярко выраженным металлическим привкусом.

Пробы почвы взятые у истока, среднего течения и у устья реки Липовки показали: превышение содержания в почве свинца на 1,6 ПДК и кобальта на 1,2 ПДК у истока Липовки; у среднего течения в почве наблюдается превышение меди на 1,6 ПДК, цинка – на 1,7 ПДК, свинца – на 3,6 ПДК; у устья в почве повышено содержание меди на 6,2 ПДК. Другие показатели не превышают норму.

Эти результаты свидетельствуют о том, что река Липовка испытывает очень сложную антропогенную нагрузку, ее состояние можно охарактеризовать как «угнетенное». Экологическое состояние водоема вызывает большую тревогу. Русло Липовки усеяно пластиковыми бутылками, шинами и другим мусором, вместо ключевой воды в Липовку текут сточные воды. Липовка постепенно превращается в огромную свалку. Мы исследовали качественный и количественный состав мусора по берегам реки. Самая загрязненная часть реки Липовки – это исток. Здесь на 1 м² находится до 5,7 кг мусора. Из них: 1,2 кг – пластмасса, 2 кг – стекло, 2,5 кг – другой мусор (железо, резина, бумага). У устья на 1 м² наблюдалось 1,6 кг мусора, из них: 0,6 кг пластмасса, 0,4 кг стекло, 0,6 кг другой мусор [4, 8].

Мы также обследовали современное состояние ручья Студеный. Упоминания о нём есть в переписи от 1795 года. Тогда на нём работало две мельницы. До пятидесятых годов двадцатого века липчане в этом ручье ловили рыбу. В настоящее время он берёт свое начало в Студеном логу, что в восточной части г. Липецка у Студеновского карьера. Здесь ширина и глубина его русла небольшая, около 0,3–0,5 м и 0,15–0,2 м соответственно. По мере продвижения по течению ручья размеры русла увеличиваются. Максимальны

они перед пересечением с автомобильной дорогой, проходящей по мосту (ул. Студеновская). Ширина русла здесь увеличивается, до 10–20 м. Затем русло вновь сужается и все среднее течение оно варьирует по ширине от 1 м до 6 м, а по глубине – от 0,2 до 0,8 м. Среднее течение интересно тем, что вдоль ручья по обе стороны от его берегов находится ул. XX Партсъезда, на которой расположено более 200 домов. Ручей по середине улицы мог бы стать отличной пейзажной особенностью этой местности, так, чтобы архитектура и природа дополняли друг друга и находились в гармонии. Но здесь представлена иная картина. Около домов лежат кучи навоза, часть которого сползает прямо в ручей. В самом ручье находятся острова бытового мусора, сломанной мебели, сантехники и многое другое. Перед впадением в реку Воронеж Студеный ручей образует небольшой залив максимальной шириной 20 м. На всем протяжении русла ручей дренирует территорию г. Липецка, что во многом определяет степень его загрязнения. В ходе обследования были взяты пробы воды, почвы на берегах ручья и проведен их анализ. Он показал, что содержание нитратов и хлоридов в воде не превышает ПДК, но увеличивается от истока к устью.

Содержание цинка и свинца в почве в районе среднего течения ручья превышает допустимые нормы до 1,3 и 1,9 ПДК соответственно, что, вероятно, связано с расположенной неподалеку постоянно оживленной автомобильной дорогой. В районе устья резко увеличивается содержание меди (1,5 ПДК).

Заключение

В настоящее время на территории Липецкой области во время дождей часто наблюдаются процессы подтопления. Подъем грунтовых вод отмечен практически во всех районах. Во многом это связано с состоянием гидрографической сети [2, 4]. Русла рек неоднократно перекрывались дамбами, что замедлило прохождение воды, а это в свою очередь привело к заиливанию и накоплению донных наносов. Все это требует принятия природоохранных мер, направленных на исправление существующего кризисного положения, на восстановление «капилляров» единой водной системы. Сегодня от их чистоты и водности во многом зависит благополучие человека.

Список литературы

1. Аничкина Н.В. Химический состав питьевых вод и здоровье населения Окско-Цнинской низменности / Н.В. Аничкина // Качество жизни: проблемы системного научного обоснования: Материалы международной научно-практической конференции (20–22 марта 2000 г., г. Липецк). – Липецк: ЛГПУ, 2000. – С. 191–192.

2. Аничкина Н.В. Эффективность работы очистных сооружений г. Грязи / Н.В. Аничкина, Ю.Г. Стефанович, В.А. Лыцова // Вестник ЛГТУ-ЛЭГИ. Научно-технический журнал. – Липецк: ЛЭГИ, 2005. – № 1(13). – С. 67–69.

3. Аничкина Н.В. Геоэкологическая оценка влияния элементного состава природных вод Окско-Донской равнины на здоровье населения. / Н.В. Аничкина // Экология Центрального Черноземья Российской Федерации. № 2(17) Научно-технический журнал. – Липецк: ЛЭГИ, 2006. – С. 70–73.

4. Аничкина Н.В. Физико-географическая характеристика и экологическое состояние рек Липецкой области. / Н.В. Аничкина // География и экология в школе XXI века.

Научно-методический журнал. – Москва: ГЕО-ЭКО, 2009. – № 7. – С. 43–50.

5. Аничкина Н.В. Матырское водохранилище. / Н.В. Аничкина // Вода России. – Екатеринбург, 2011. – № 9.

6. Аничкина Н.В. Экосистемы: учебное пособие. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – Липецк: ЛЭГИ, 2011. – 84 с.

7. Аничкина Н.В. Ландшафтно-экологические особенности водоёмов антропогенного происхождения на территории Липецкой области и их влияние на развитие прилегающих территорий. / Н.В. Аничкина // Географическое пространство: сбалансированное развитие природы и общества. Материалы II заочной Всероссийской научно-практической конференции. – Челябинск, ЗАО «Магнитогорский Дом печати», 2011. – С. 76–84.

8. Аничкина Н.В. Результаты полевых исследований города Липецка с 2006 по 2011 годы. / «Пятые семёновские чтения: наследие П.П. Семенова-Тян-Шанского и современная наука» (Материалы международной научно-практической конференции). – Липецк, ЛГПУ, 2012. – С. 55–63.

9. Липецк. Взгляд сквозь столетия: Историко-географическое статистическое издание. / Аничкина Н.В. и др. – Липецк, Липецкстат, 2013. – 224 с.

УДК 622 (574):504.054

**ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ РУД
С ПРИМЕНЕНИЕМ СОРБИРУЮЩИХ РЕДОКСПОЛИМЕРОВ****Ахмеджанов Т.К., Нуранбаева Б.М.***Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева,
Алматы, e-mail: ahm_tlev_49@mail.ru, bulbulmold@mail.ru*

Статья посвящена проблеме утилизации отходов добычи и переработки золотосодержащих и урановых руд, загрязняющих окружающую среду. В статье предлагается инновационный способ утилизации и захоронения отходов добычи и переработки выщелачиванием золотосодержащих и урановых руд в открытых горных выработках. В научной работе использован комплексный метод исследований, включающий аналитические методы при теоретическом обосновании изменения температуры в окисляющемся объеме, методы анализа при обработке расчетных и экспериментальных данных, лабораторные методы при определении физико-механических и теплофизических параметров выщелачиваемых руд. Статья вносит значительный вклад в мировую науку при изучении процессов утилизации выщелачиванием отходов добычи и переработки золотосодержащих и урановых руд. В результате анализа предлагаемого способа авторы впервые доказывают, что при совместной утилизации золотосодержащих и урановых руд путем кучного выщелачивания в карьерном пространстве загрязнение окружающей среды пылью и выщелачивающими растворами будет минимальным при формировании куч на дне карьера; изменение температуры в объемах при совместной утилизации золотосодержащих и урановых руд путем выщелачивания находится в прямо пропорциональной зависимости от суммарной мощности источников радиоактивного излучения и удельного тепловыделения от окисления руд; при оценке эффективности способов совместной утилизации золотосодержащей и урановых руд следует использовать эколого-экономический критерий $0 \leq \eta \leq 1$, учитывающий захоронение отходов выщелачивания, в обработанных карьерах.

Ключевые слова: руда, золото, уран, куча, выщелачивание, карьер**THE INNOVATIVE TECHNOLOGY OF LEACHING ORES
WITH THE USE OF SORBENT REDOXPOLYMERS****Akhmedzhanov T.K., Nuranbayeva B.M.***Kazakh national research technical University named after K.I. Satpayev, Almaty,
e-mail: ahm_tlev_49@mail.ru, bulbulmold@mail.ru*

The article is devoted to the problem of disposal of mining and processing gold and uranium ore contaminating the environment. The article proposes an innovative method of recycling and burial of waste of production and processing of the leaching of gold and uranium ore in open mines. In scientific work used a complex method of research including analytical methods and the theoretical rationale for changes in temperature in the oxidizing volume, methods of analysis in the processing of numerical and experimental data, laboratory techniques in determining the physico-mechanical and thermophysical properties of ores leached. The article makes a significant contribution to world science in the study of processes of recycling of leaching of wastes from mining and processing gold and uranium ore. The analysis of the proposed method, the authors first prove that the joint utilization of gold and uranium ores by heap leaching in the career space environmental pollution by dust and leaching solution is minimal in the formation of heaps on the bottom of the quarry; the temperature change in volume when combined utilization of gold and uranium ores by leaching is in directly proportional dependence on the total capacity of sources of radiation and the specific heat release from oxidation of ores; the assessment of efficiency of methods of joint utilization of gold and uranium ore should be used of ecological and economic criteria, taking into account the disposal of waste leaching in treated pits.

Keywords: ore, gold, uranium, heap leaching, open-pit mine

Казахстан является одной из ведущих стран по добыче и переработке золота и урана. При этом, как и во всей горнодобывающей промышленности Республики Казахстан, в настоящее время в отвалах и хвостохранилищах скопилось более 10 млрд т отходов, а занимаемая ими площадь плодородных земельных угодий составляет более 20 тыс. га. Причем ценность некоторых отходов цветной и черной металлургии составляет 25–50% от суммарной ценности добытого минерального сырья. В настоящее время значительное внимание уделяется указанным отходам, как источнику

получения дополнительных полезных компонентов, так и с точки зрения снижения их влияния на экологию горнодобывающих регионов. При переработке и добыче урана, а также для утилизации забалансовых и труднообогатимых руд цветных и драгоценных металлов в отвалах в мировой и отечественной практике широко применяют способы кучного выщелачивания полезных компонентов [1]. При кучном выщелачивании полезных компонентов используют различные токсичные вещества, как, например, цианиды при выщелачивании золота, а также растворы (серной, соляной и других

кислот) при выщелачивании золота, меди, цинка, свинца, урана и др., которые отрицательно сказываются на окружающей среде, флоре и фауне регионов [2]. При этом наиболее сильному загрязнению от утечек таких растворов, выделения пыли и газов подвергаются почва и грунтовые воды, а также атмосфера и близлежащие водоемы (реки, озера) [3].

При добыче руд благородных, цветных и редких металлов зачастую применяют открытый способ разработки, вследствие чего образуются большие выработанные пространства и отвалы забалансованных руд, которые также являются мощными источниками загрязнения окружающей среды [4]. Для восстановления нарушенных горными работами земель, требуется утилизация больших объемов забалансовых руд, без чего невозможно восстановить отведенные под горные работы земли [5]. Все это приводит к потерям полезных компонентов и снижает эффективность добычи и переработки полезных ископаемых с применением способов выщелачивания.

Анализ проведенных до настоящего времени исследований показывает, что вопросы разработки способов предотвращения загрязнения окружающей среды при кучном выщелачивании руд в районах открытой добычи требуют дальнейшего совершенствования. Поэтому разработка способов совместной утилизации и захоронения отходов добычи и переработки золотосодержащих и урановых руд для снижения степени загрязнения окружающей среды при кучном выщелачивании с использованием ранее отработанных горных выработок типа карьеров является актуальной научной задачей.

Целью работы является разработка способов утилизации и захоронения отходов добычи и переработки выщелачиванием золотосодержащих и урановых руд в открытых горных выработках.

Анализ литературных источников по изучению способов утилизации и захоронения отходов горнодобывающей и урановой промышленности загрязнения окружающей среды при добыче и переработке кучным выщелачиванием руд показал, что до настоящего времени отсутствуют способы совместного выщелачивания золотосодержащих и урановых руд.

Результаты аналитических исследований степени загрязнения окружающей среды при кучном выщелачивании руд в карьерном пространстве показали, что

выделение и выброс пыли, в том числе и радиоактивной, в атмосферу за карьерное пространство при формировании куч уменьшается с глубиной размещения отходов. Кроме того, утечки продуктивных растворов в окружающую среду при выщелачивании также уменьшаются с увеличением глубины размещения куч в карьере.

Выявлено, что при существующих схемах естественного воздухообмена карьеров для уменьшения степени выбросов пыли из карьерного пространства при формировании куч их следует размещать в самой глубокой части карьера, где интенсивность естественного воздухообмена затруднена. Следовательно, выбросы пыли за пределы карьерного пространства будут минимальны при формировании куч на дне карьера.

На основе анализа уравнения водного баланса установлено, что при формировании куч на дне карьера утечки продуктивных растворов также будут минимальны, а следовательно, и возможность загрязнения грунтовых подземных вод выщелачиваемыми растворами будет исключена.

Формирование куч на дне карьерного пространства также удовлетворяет условиям технологии засыпки карьеров при их рекультивации.

Таким образом, формирование куч для выщелачивания металлов следует осуществлять на дне карьера, что обеспечит минимальное воздействие на окружающую среду процесса совместной утилизации отходов золотосодержащих и урановых руд путем кучного выщелачивания.

Для аналитического исследования изменения температуры в объемах при совместной утилизации золотосодержащих и урановых руд путем их кучного выщелачивания в карьерном пространстве предложена математическая модель (1)–(3). При этом изменение температуры в объемах совместно выщелачиваемых золотосодержащих и урановых руд представлено неоднородным уравнением теплопроводности вида:

$$C_p \rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(a \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \beta_1 + \beta_2, \quad (1)$$

с начальными и граничными условиями:

$$T|_{t=0} = T_0, \quad 0 \leq x \leq h_k,$$

$$T|_{x=0} = T_1; \quad T|_{x=h_k} = T_2, \quad (\tau > 0). \quad (2)$$

Аналитическое решение этой задачи можно представить в следующем виде:

$$T(x, t) = \frac{2(\beta_1 + \beta_2)}{C_p \rho} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mu_n \sin \mu_n + B(1 - \cos \mu_n)_i}{[\mu_n^2 + B_i(B_i + 2)] \cdot \left[a \left(\frac{\mu_n}{h_k} \right)^2 - \sigma_H \right]} \times$$

$$\times \left[\exp - \sigma_H \tau - \exp - a \left(\frac{\mu_n}{h_k} \right)^2 \tau \right] \left(\cos \frac{\mu_n}{h_k} x + \frac{B_i}{\mu_n} \sin \frac{\mu_n}{h_k} x \right), \quad (3)$$

где β_1 – тепловой источник от окисления выщелачиваемых руд;

β_2 – тепловой источник от радиационного излучения отходов урановых руд.

Анализ полученного решения показывает, что изменение температуры руды в выщелачиваемом объеме находится в прямо пропорциональной зависимости от суммарного значения мощности источников тепла от окисления минералов сульфидов и от радиации, излучаемой урановыми рудами.

Для решения задачи (1) и (2) также была использована программа Delfi, которая позволяет определить распределение температуры, как в пространстве, так и во времени в рассматриваемом объеме.

Для совместного выщелачивания золотосодержащих и урановых руд были разработаны новые способы [6, 7].

Предлагаемый нами способ совместного выщелачивания [6] предусматривает наличие следующих показателей:

- высота и пористость кучи, плотность и минимальной размер гранул руды;
- коэффициент, учитывающий динамику процесса и содержание фракции 0–1 мм в объеме кучи;
- максимальная молекулярная влагоемкость руды;
- толщина кольматационного слоя и содержания в нем фракции 0–1 мм;
- поверхностное натяжение выщелачивающего раствора и краевой угол смачивания.

При этом с целью повышения эффективности выщелачивания руды и захоронения отходов выщелачивания и переработки атомной промышленности кучи формируют в пространстве отработанных карьеров, путем перемешивания объема руды (V_p) с объемом радиоактивных отходов (порода, пульпы и т.д.) (V_{po}) в соотношении $\frac{V_p}{V_{po}} = 3$, с последующим покрытием всех сторон поверхности кучи радиоактивными отходами атомной промышленности.

Перемешивание выщелачиваемой руды с радиоактивными отходами (порода, пульпа и т.д.), позволяет повысить температуру и теплообмен между раствором и выщелачиваемой рудой, что в свою очередь приводит к интенсивному окислению руды, а следовательно, к увеличению выхода в раствор полезных компонентов. Для улучшения теплообмена и повышения температуры в куче ее поверхность также покрывается радиоактивными отходами атомной промышленности. Все это в комплексе приводит к повышению эффективности выщелачивания. Кроме того, для исключения появления новых отходов выщелачивания предлагается формировать кучи в отработанных карьерах для последующего их захоронения на месте при рекультивационных работах.

Предлагаемый способ выщелачивания реализовывался на моделях в лабораторных условиях. Для этого провели гранулометрический анализ подвергаемой переработке золотосодержащей руды по предлагаемому способу выщелачивания. Гранулометрический анализ осуществлялся весовым методом с определенным объемом руды. Объем руды обосновывался методом выборки для обеспечения репрезентативности модели. Гранулометрический состав выщелачиваемой руды представлен в табл. 1.

Как видно из таблицы, основную долю составляет фракция 0–0,20 мм. Эту фракцию следует подвергнуть более детальному гранулометрическому анализу на ситах весовым методом. Результаты гранулометрического анализа фракции 0–0,20 мм представлены в табл. 2. Причем эту фракцию берем как сто процентов и определяем остальные фракции.

Для того чтобы создать физическую модель выщелачиваемого объема руды, представим его как несвязную среду с неоднородной пористостью. Представим реальный объем выщелачиваемой руды, состоящий из N фракции. Из этих $N = N - N_1$, крупные фракции, составляющие основной скелет выщелачи-

ваемого объема руды, а N_1 фракции являются заполнителем. Рассматривая соотношение объемов заполнителя, скелета и реального объекта получена взаимосвязь между пористостью заполнителя и реального объекта:

$$m_{N_1} = \frac{m_p}{f_{N_1}} - \sum_{i=1}^{N_1} f'_i, \quad (4)$$

где m_{N_1} – пористость заполнителя, отн. ед.;
 m_p – пористость реального объекта, отн. ед.;
 $\sum_{i=1}^{N_1} \phi'_i$ – сумма отношений объемов каждой доли фракции заполнителя, которая относится ко всему объему реального объекта и определяется как соотношение:

$$\sum_{i=1}^{N_1} \phi'_i = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} \phi_i}{\phi_{N_1}}, \quad (5)$$

здесь ϕ_i – доля объема каждой фракции заполнителя, отнесенная ко всему объему заполнителя, отн.ед.;

ϕ_{N_1} – доля всего объема заполнителя, отнесенная ко всему объему реального объекта, отн.ед.

Для выбора модели пористость заполнителя вычисляется по формуле (4), используя табл. 3.

Если пористость заполнителя будет меньше пористости реального объекта, то из выделенной N_1 фракции заполнителя переводим одну или часть одной, или несколько наиболее крупных фракций к скелету реального объекта и продолжаем вычисление до тех пор, пока пористость заполнителя не окажется равной пористости реального объекта ($m_{N_1} = m_p$). Количество фракции N_1 , при которой ($m_{N_1} = m_p$) следует выбрать как модель реального объекта.

Таблица 1

Гранулометрический состав выщелачиваемой руды

№ п/п	V, м ³ объем	Гранулометрический состав руды, %, м				
		0–0,20 м	0,21–0,40 м	0,41–0,60 м	0,61–0,80 м	0,81 м
1	7,7	50,2	21,5	13,4	12,6	2,2
2	8,1	53,1	22,2	12,7	10,4	1,5
3	9,0	55,5	21,5	12,5	8,7	1,7
4	7,0	56,6	21,7	11,7	7,6	2,3
5	10,2	57,4	20,6	13,4	7,3	1,2
6	9,5	47,4	19,4	15,9	15,0	2,2
7	8,5	52,5	21,0	12,3	11,7	2,4

Таблица 2

Гранулометрический состав руды фракции 0–0,20 м

Номер фракции	Интервал фракции, мм	1	2	3	4	5	6	7
		ϕ_1 , %						
1	0–1,0	4,5	4,3	5,2	5,0	3,7	3,5	4,1
2	1,0–2,5	6,0	5,8	6,5	6,1	7,0	6,9	6,0
3	2,5–5,0	7,3	7,5	6,9	8,0	7,2	7,5	7,2
4	5,0–7,5	6,4	6,6	7,9	8,5	7,5	8,5	6,9
5	7,5–10,0	7,7	7,3	9,2	8,7	9,3	9,4	7,3
6	10,0–12,5	9,4	9,0	9,6	9,3	9,6	10,4	9,0
7	12,5–15,0	8,9	9,2	10,7	9,5	10,2	9,1	9,2
8	15,0–17,5	9,9	10,0	7,2	8,5	11,0	7,7	9,4
9	17,5–20,0	7,3	6,7	6,5	4,8	4,1	4,5	9,8
10	20,0–30,0	6,5	7,5	7,0	8,5	6,8	6,9	6,7
11	30,0–40,0	5,9	5,5	5,1	4,5	5,3	6,6	7,5
12	40,0–50,0	6,0	5,8	4,9	4,4	5,9	6,8	5,5
13	50,0–100	5,4	5,6	5,1	4,0	4,5	4,0	5,8
14	100–150	4,8	5,0	4,5	5,3	4,7	5,2	3,6
15	150–200	4,0	4,2	3,8	4,5	3,2	3,0	2,0

В некоторых случаях значение пористости заполнителя N_1 может оказаться больше пористости реального объекта, в этом случае, добавляя из скелета реального объекта одну или часть одной, или несколько наиболее мелких фракций в предварительно выделенный заполнитель N_1 , производим вычисление до тех пор, пока пористость заполнителя не окажется равной пористости реального объекта, т.е. $(m_{N_1} = m_p)$. Количество фракции N_1 , при котором $(m_{N_1} = m_p)$ следует выбрать в качестве модели для лабораторных исследований.

По этому же принципу подбиралась пористость радиоактивных отходов, с которыми перемешивалась выщелачиваемая руда.

Результаты вычисления пористости модели выщелачиваемой руды и радиоактивных отходов были подвергнуты экспериментальной проверке.

Вычисленная и экспериментальная пористости выщелачиваемого объема вместе с радиоактивными отходами совпадали с относительной погрешностью до 15 %. Можно сделать вывод о том, что таким образом выбранная модель адекватна реальному объекту. Результаты вычисления сведены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, для руды под номером 10 (по горизонтали) пористость модели (заполнителя) совпадает с пористостью реального объекта. В качестве модели берутся фракции включительно по десятую в тех же процентных соотношениях, которые приведены в табл. 2, т.е. следующие фракции: 0–1,0; 1,0–2,5; 2,5–5,0; 5,0–7,5; 7,5–10,0; 10,0–12,5; 12,5–15,0; 15,0–17,5; 17,5–20,0; 20,0–30,0 (интервалы в мм).

Для руд под номером 9 для лабораторных экспериментов берется 9-я фракция из табл. 2 с пористостью из табл. 3 $m_3 = 0,30$. Для руд под номерами 1, 2, 6, 7 и 13 для лабораторных экспериментов берутся первые 8 фракций с пористостью соответственно из табл. 3 – 0,26, 0,25, 0,27, 0,24 и 0,24. Для руд под номерами 3, 4, 5, 8, 11 и 12 для лабораторных экспериментов берутся первые

7 фракций с пористостью соответственно из таблицы 3 – 0,25, 0,26, 0,26, 0,24, 0,25 и 0,26.

Таким образом, модель формируется на бетонной плите с отверстием для стока выщелачиваемого раствора. Бетонная плита является вогнутой, так, чтобы раствор вытекал из отверстия.

Модельная куча формировалась таким образом, чтобы отношение объемов руды V_p с объемом радиоактивных отходов V_{po} соответствовало $\frac{V_p}{V_{po}} = 3$, а также поверхность ее покрывалась радиоактивными отходами.

Модельная куча орошалась 2%-м тиосульфатным раствором.

Для повышения эффективности орошения при кучном выщелачивании и увеличения степени охвата руды в объеме кучи воздействием выщелачивающего раствора предлагается также новый способ орошения [7], сущность которого заключается в следующем.

Согласно этому способу кучное выщелачивание забалансовых и труднообогатимых руд включает покрытие кучи слоем определенной высоты из мелкопористого материала, например, из отходов урановой руды. Это позволит повысить полноту обработки рудной массы. При этом высоту покрытия из урановой руды вычисляют по формуле:

$$h_c = h_k \left[\frac{Q_0 \cdot t \cdot \rho_p}{q_k \cdot M} (1 - m_k) - 1 \right], \quad (6)$$

где h_c – высота слоя сыпучего мелкопористого материала из отходов урановой руды, м; h_k – высота кучи, м; Q_0 – максимальный расход насоса, подающего выщелачивающий раствор на поверхность слоя сыпучего мелкопористого материала, м³/с; t – время, в течение которого обрабатывают весь объем кучи, с; ρ_p – насыпная плотность руды в куче, кг/м³; q_k – удельный расход выщелачивающего раствора для обработки руды, м³/м³; M – масса отсыпанной кучи, кг; m_k – средняя пористость кучи, м³/м³.

Пористость слоя сыпучего мелкопористого материала вычисляется по формуле:

$$m_c = \frac{\rho_c m_k [\phi_0 - (W_k + 2\phi_k + \phi_k)]}{\rho_p (1 - m_k) [\phi_{oc} - (W_c + 2\phi_{oc} + \phi_{1c})] + \rho_c m_k [\phi_0 - (W_k + 2\phi_k + \phi_k)]}. \quad (7)$$

Для уменьшения потерь руды от коагуляционных явлений и степени загрязнения окружающей среды растворами нами разработан и апробирован новый способ орошения, который обеспечивает стационарный режим фильтрации выщелачивающей жидкости в навалу руды.

Таблица 3

Значение параметров реального объекта и его модели

№ п/п	m M^3/M^3	$\sum_{i=1}^{10} \phi'_{10}$	$\sum_{i=1}^9 \phi'_i$	$\sum_{i=1}^8 \phi'_i$	$\sum_{i=1}^7 \phi'_i$	φ_{10}	φ_9	φ_8	φ_7	m_{10}	m_9	m_8	m_7
1	0,26	—	—	0,60	—	—	—	0,30	—	—	—	0,26	—
2	0,27	—	—	0,60	—	—	—	0,32	—	—	—	0,25	—
3	0,25	—	—	0,63	0,560	—	—	0,35	0,31	—	—	0,08	0,25
4	0,25	—	—	0,64	0,551	—	—	0,36	0,31	—	—	0,06	0,26
5	0,25	—	—	0,66	0,545	—	—	0,38	0,31	—	—	0,02	0,26
6	0,27	—	—	0,63	—	—	—	0,30	—	—	—	0,27	—
7	0,26	—	—	0,60	—	—	—	0,31	—	—	—	0,24	—
8	0,24	—	—	0,59	0,513	—	—	0,36	0,32	—	—	0,08	0,24
9	0,29	—	0,697	0,62	—	—	0,30	0,26	—	—	0,30	0,49	—
10	0,25	0,72	—	0,59	—	0,26	—	0,22	—	0,24	—	0,54	—
11	0,24	—	—	0,62	0,519	—	—	0,37	0,31	—	—	0,03	0,25
12	0,24	—	—	0,61	0,512	—	—	0,37	0,31	—	—	0,04	0,26
13	0,26	—	—	0,60	—	—	—	0,31	—	—	—	0,24	—

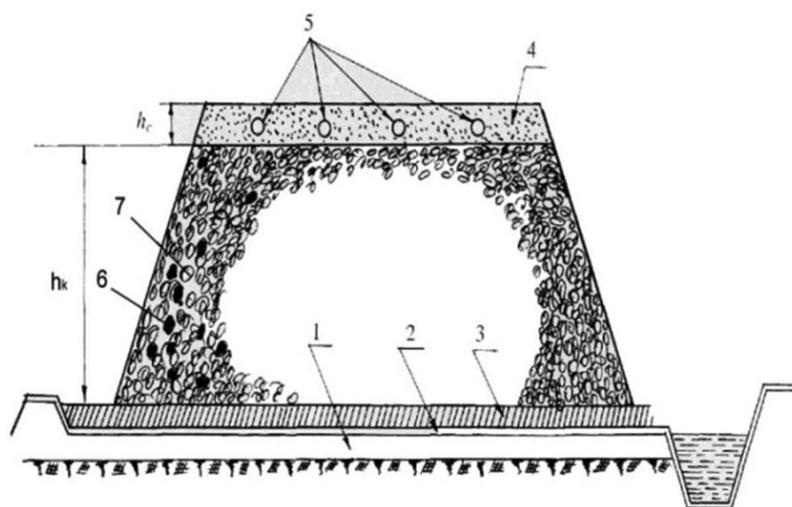


Рис. 1. Схема способа закрытого орошения при кучном выщелачивании руды.
1 – глина; 2 – полиэтиленовая пленка; 3 – песок; 4 – мелкопористый насыпной слой;
5 – трубы для подачи раствора

Сущность данного способа заключается в следующем. При формировании кучи высотой h_k на ее поверхности перед орошением отсыпается слой из мелкопористого материала высотой h_c (рис. 1).

Отсыпaeмый слой из мелкопористой урановой руды предназначен для дозированной и равномерной подачи раствора по всей горизонтальной поверхности кучи. Кроме того, он предотвращает интенсивное испарение выщелачивающего раствора, так как последний подается внутрь этого слоя, т.е. место подачи раствора изолировано от

атмосферы, что весьма важно при цианидном выщелачивании золота. Этот способ позволяет также повысить эффективность выщелачивания за счет предотвращения явлений коагуляции; равномерности обработки объема раствором; увеличения времени взаимодействия выщелачивающего раствора с рудой. Эти факторы повышают извлечение полезных компонентов из куч, а также снижают затраты на выщелачивание за счет уменьшения необходимости многократного оборотного орошения руды для получения требуемой концентрации по-

Таблица 4

Результаты выщелачивания золотосодержащей руды на моделях в лабораторных условиях

№ п/п	Тип руды	Извлечение $A_{и}$ в продуктивный раствор	
		Без радиоактивных отходов	По предлагаемому способу
1	Сульфидная руда месторождения Акбакай с содержанием золота 1,6 г/т	75–78	80–85
2	Руда с содержанием золота 2,0 г/т	87–96	93–97



Рис. 3. Новая технологическая схема сбора растворов выщелачивания с извлечением благородных металлов

Выщелачивание золотосодержащей руды с перемешанными радиоактивными отходами в соотношении $\frac{V_p}{V_{po}} = 3$ и с покрытием ими поверхности выщелачиваемого объема, позволил увеличить выход золота в продуктивный раствор в среднем на 20%, по сравнению с выщелачиванием этой же руды без радиоактивных отходов. Результаты выщелачивания золотосодержащей руды на моделях в лабораторных условиях приведены в табл. 4.

Таким образом, предлагаемый способ выщелачивания руды позволяет повысить эффективность выщелачивания, а также снизить экологическую нагрузку на окружающую среду, за счет захоронения отходов выщелачивания и атомной промышленности на местах выщелачивания, т.е. в отработанных карьерах.

Реализация проекта позволит решить ряд природоохранных задач современности по утилизации отходов, снизить техногенную экологическую нагрузку в горнодобывающих регионах РК. На основе проведенных исследований предлагается следующая инновационная технологическая схема извлечения золота (рис. 3).

Перспективность предлагаемой научно-технической работы состоит в разработке отечественных наукоемких технологий по извлечению золота, урана и других металлов из отходов горнодобывающей промышленности, что позволяет решать ряд природоохранных проблем по утилизации отходов, снизить техногенную экологическую нагрузку в районах разработки и переработки полезных ископаемых.

Заключение

В ходе выполнения научного исследования получены следующие новые научные и практические результаты:

1. На территории Республики Казахстан имеются значительные объемы отработанных карьеров и отвалов забалансовых золотосодержащих и урановых руд, расположенных в непосредственной близости друг от друга и требующих утилизации путем выщелачивания и захоронения их отходов в карьерах для улучшения состояния окружающей среды.

2. Для уменьшения степени загрязнения окружающей среды и повышения эффективности утилизации забалансовых золотосодержащих и урановых руд кучным выщелачиванием разработаны новые способы,

основанные на использовании карьерного пространства, а формирование куч при этом осуществлять на дне карьера.

3. Разработана математическая модель изменения температурного режима в выщелачиваемом объеме руды, позволяющая прогнозировать эффективность совместного кучного выщелачивания золотосодержащих и урановых руд в зависимости от их физико-химических и тепловых свойств.

4. Для извлечения золота и серебра из растворов выщелачивания предлагается использовать новый редокс(со)полимер, полученный из отходов карбидного производства.

Полученные результаты могут быть использованы на предприятиях горнодобывающей промышленности и проектными организациями при составлении разделов ОВОС в проектах разработки месторождений твердых полезных ископаемых.

Список литературы

1. А.с. № 1351238. Способ выщелачивания полезных ископаемых из раздробленных руд / Кулагин А.И. и др. Оpubл. в Б.И. 1998 г.
2. Бегалинов А., Яковлев А.П., Ахмеджанов Т.К. и др. Тиосульфатное выщелачивание золота. Теория и практика. – Алматы, 2001. – 224 с.
3. Инновационный патент на изобретение № 23532 от 15.12.2010, бюл. № 12. Способ выщелачивания руды. / Ахмеджанов Т.К., Берикболов С.Б., Нуранбаева Б.М.
4. Инновационный патент на изобретение № 23531 от 15.12.2010, бюл. № 12. Способ кучного выщелачивания забалансовых и труднообогатимых руд. / Ахмеджанов Т.К., Берикболов С.Б., Нуранбаева Б.М. и др.
5. Калыбеков Т.К. Рациональное использование земельных ресурсов. – Алматы, 2006. – 165 с.
6. Колосов А.В. Эколого-экономические принципы развития горного производства. – М.: Недра, 1987. – 261 с.
7. Предпатент № 11835 РК опубл. 15.08.2002, бюл. № 8. Редоксиониты на основе винилового эфира моноэтаноламина и одно- и многоядерных хинонов / Ергожин Е.Е., Мухитдинова Б.А., Шоинбекова С.А., Нуранбаева Б.М., Исенжолова У.Т.
8. Ржевский В.В. Горные науки. – М.: Недра, 1985. – 96 с.

УДК 622.343:622.349.69

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОСТАВА РУДЫ И ПОРОД ДЛЯ КОРРЕКТИРОВКИ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕНСИВНОГО КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ**Битимбаев М.Ж., Орынгожин Е.С., Джумабаев Е.И.***Национальная инженерная академия Республики Казахстан, Алматы, e-mail: e24.01@mail.ru*

В статье даны результаты лабораторных исследований по определению состава руды и пород для корректировки основных параметров технологии интенсивного кучного выщелачивания. Данные, полученные в лабораторных условиях, дают представления о перераспределении элементов в каждой фазе, что является основанием для применения технологии интенсивного кучного выщелачивания золота месторождения Акжал.

Ключевые слова: лабораторные исследования, состав руды, параметры, выщелачивание, золото**LABORATORY RESEARCH OF DETERMINATION OF ORE AND ROCK COMPOSITION FOR CORRECTIONS OF MAIN PARAMETERS OF INTENSIVE HEAP LEACHING TECHNOLOGY****Bitimbaev M.Z., Oryngozhyn E.S., Dzhumabaev E.I.***National engineering academy of Republic of Kazakhstan, Almaty, e-mail: e24.01@mail.ru*

In this paper it is presented the results of laboratory research of ore and rock composition for corrections of main parameters of intensive heap leaching technology. The data obtained in laboratory conditions giving a representation of redistribution of elements in each phase, that is basis for application of technology of intensive heap leaching of gold field Akzhal.

Keywords: laboratory research, ore composition, parameters, leaching, gold

Кучному выщелачиванию подвергают легкообогатимое сырье, в котором золото (и серебро) находится преимущественно в цианируемой форме. В основном это окисленные руды или коры выветривания коренных месторождений золота, обработка которых возможна открытым способом, а также забалансовые рудные отвалы и техногенное сырье – лежалые хвосты золото-извлекательных фабрик, текущие хвосты переработки золотых руд. Качество перерабатываемого сырья варьируется в широких пределах. Опыт горных предприятий Казахстана показывает, что сырьем для кучного выщелачивания могут служить бедные товарные руды, забалансовые руды и минерализованная масса вскрышных пород с содержанием от 0,5–0,7 до 3–5 г/т, а также техногенные отходы с содержанием золота 1,5–2,0 г/т [1, 2].

Технологию кучного выщелачивания золота можно рекомендовать к широкому применению на золотодобывающих предприятиях Казахстана, и для интенсификации процесса можно использовать разработанный нами способ выщелачивания в тонком слое руды. Проекты кучного выщелачивания в тонком слое руды характеризуются быстрым вводом в эксплуатацию и получения товарного золота.

Для разработки технологии интенсивного кучного выщелачивания золота нами была получена представительная проба руды месторождения Акжал Восточного Казахстана и проведены лабораторные испытания по определению состава руды и пород, их физико-механических и химических характеристик, осуществлена корректировка основных параметров технологии интенсивного кучного выщелачивания.

На основании данных лабораторных исследований разработан технологический регламент для опытно-промышленных испытаний разработанной технологии.

Крепость горных пород – общепринятое условное понятие, символизирующее совокупность физико-механических свойств горных пород, проявляющуюся в различных технологических процессах при добыче и переработке полезных ископаемых [3]. Показатели крепости пород месторождения Акжал приведены в табл. 1.

Разведанные руды месторождения Акжал полускальные, встречаются крепкие глинистые сланцы, некрепкие песчаники, мягкие конгломераты. А также относятся к одному технологическому типу – типу окисленных руд, пригодных для технологии кучного выщелачивания без разделения по сортам.

Таблица 1

Показатели крепости руд месторождения Акжал

Категория пород	Коэфф. крепости	Горные породы	Категория руд	Показатель трудности разрушения P_p	Класс пород
Va средней крепости	6–8	Разнообразные сланцы, плотный мергель, глинистый доломит	Полускальные	4	Полускальные плотные и легко разрушаемые, $P_p = 0,2 - 5$
V средней крепости	8–10	Крепкий глинистый сланец, некрепкие песчаник и известняк, мягкий конгломерат, трещиноватый известняк и песчаники	Полускальные	4	Полускальные плотные и легко разрушаемые, $P_p = 0,2 - 5$

Мощности рудных тел варьируются от 4 до 10 м, резкие раздувы и пережимы редки. Выклинивание их по простиранию большей частью естественное. Падение рудных тел преимущественно северо-восточное под углами 60–70°. Балансовые запасы $A + B + C_1 + C_2 = 899,52$ т, забалансовые запасы – 10008 т.

На основании проведенных лабораторных испытаний установлено следующее: руды месторождения Акжал являются многокомпонентными, причем их единственным полезным компонентом является золото (коренное – 5–50 г/т, россыпное 0,3–2 г/т). Серебро присутствует в рудах на уровне 0,7–0,8 г/т, что явно не достаточно для учета его как экономически значимого компонента.

Ниже предоставлены результаты рентгенофазового полуколичественного анализа двух образцов месторождения Акжал.

Рентгенофазовый метод анализа (РФА) минералов позволяет исследовать структурные особенности минералов, горных пород и продуктов их технологической переработки. Выбранный для исследования метод основан на явлении дифракции рентгеновских лучей кристаллическими фазами исследуемого образца.

Целью РФА является выявление их реального строения, т.е. структурного состояния степени упорядоченности кристаллической структуры и наличия примесей.

Рентгенограммы образцов были получены на дифрактометре ДРОН-3М в цифровом виде с применением кобальтового излучения и графитового монохроматора на дифрагированном пучке (табл. 2 и 4). Режимы съемки образцов следующие: напряжение на рентгеновской трубке 30 kV, ток трубки 30 mA, шаг движения гониометра 0,05°2 θ , и время замера интенсивности в точке – 1,0 сек. Во время съемки образец

вращался в собственной плоскости со скоростью 60 об/мин.

Таблица 2

Рентгенометрические данные образца (месторождение Акжал, образец исходный № 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count
10,240	10,0233	455
14,459	7,1077	428
20,629	4,9956	427
23,021	4,4824	468
24,281	4,2530	1479
29,220	3,5461	427
31,042	3,3426	5224
34,313	3,0322	434
37,451	2,7862	420
40,435	2,5883	475
40,898	2,5602	537
42,724	2,4556	874
44,010	2,3872	406
46,196	2,2800	709
47,174	2,2354	516
49,746	2,1266	619
53,219	1,9970	385
53,759	1,9784	468
59,006	1,8163	771
64,742	1,6706	461
71,018	1,5400	681
76,111	1,4510	385
80,689	1,3817	523
81,333	1,3726	606

Таблица 3

Результаты полуколичественного анализа (образец № 1)

SiO ₂ -Quartz	62,6%
Muscovite	21,4%
Illite	9,4%
Kaolinite	6,3%
CaCO ₃	0,2%

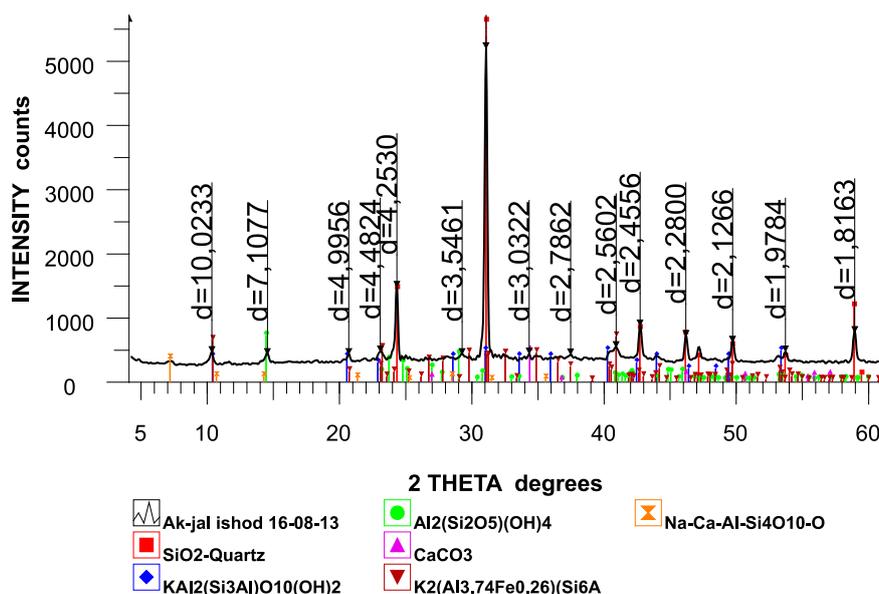


Рис. 1. Дифрактограмма образца (месторождение Акжал, образец № 1)

Таблица 4
Рентгенометрические данные образца (месторождение Акжал, образец ТФ № 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count
7,168	14,3083	360
10,224	10,0386	514
14,428	7,1227	476
20,654	4,9895	431
22,998	4,4869	508
24,256	4,2573	1552
29,172	3,5518	436
34,271	3,0358	423
37,372	2,7919	417
40,381	2,5916	455
40,863	2,5623	532
42,724	2,4556	847
43,964	2,3896	391
46,192	2,2802	603
47,180	2,2351	532
49,730	2,1272	661
53,175	1,9985	398
53,749	1,9787	462
58,964	1,8175	783
64,729	1,6709	411
70,954	1,5412	635
76,030	1,4524	372
80,670	1,3819	488
81,313	1,3729	641

Предварительная обработка рентгенограмм для определения углового положения и интенсивностей рефлексов проводилась программой Gpeak. При проведении фазового анализа использовалась программа PCPDFWIN с базой дифрактометрических

PDF-2. В табл. 3 и 5 показаны результаты полуколичественного анализа месторождения Акжал.

На рис. 1 показана дифрактограмма образца № 1 месторождения Акжал.

Таблица 5
Результаты полуколичественного анализа (образец ТФ № 2)

SiO ₂ -Quartz	58,3 %
Muscovite	23,2 %
Illite	10,0 %
Kaolinite	7,7 %
CaCO ₃	0,9 %

РФА анализ, выполненный для двух образцов месторождения Акжал, показал, что основой минеральной структуры является кварц (SiO₂), количество которого колеблется от 62,6 до 58,3%. Это самый распространенный минерал семейства кремнезема. Содержит в небольших количествах примеси алюминия, железа, кальция, магния, титана, калия, натрия, лития и других элементов. Кроме того, этот минерал обладает пьезоэлектрическими свойствами, что позволяет разрабатывать новые геотехнологии, учитывающие его чувствительность к механическим вибрациям. Этот минерал легко травится HF, при повышенных температурах и давлениях растворяется в водных щелочных и бикарбонатных растворах. Эти особенности его поведения в окружающей среде используются в современных технологиях подземного и кучного выщелачивания.

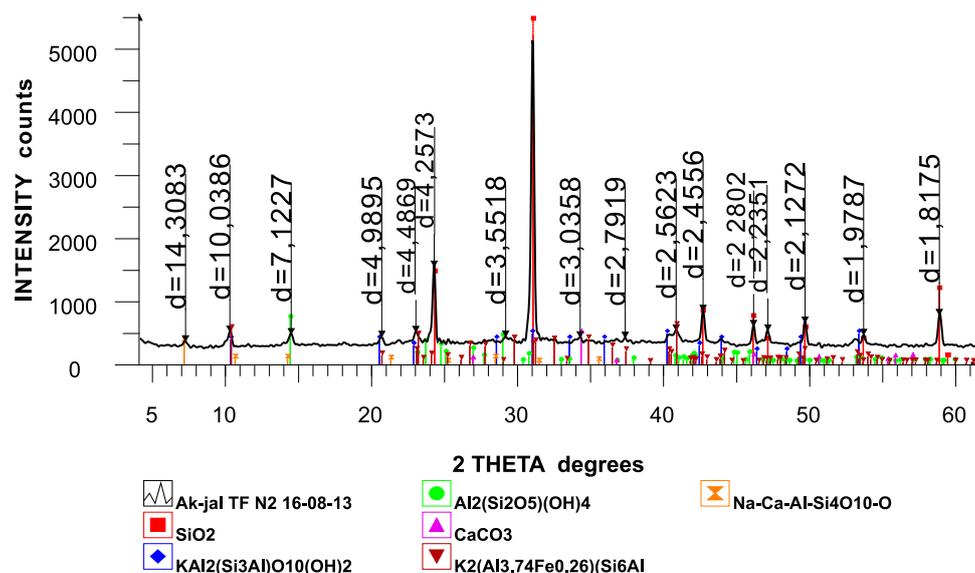


Рис. 2. Дифрактограмма образца (образец ТФ № 2)

Таблица 6

Химико-минералогический элементный состав образцов месторождения Акжал по данным спектрального анализа

Элемент	Содержание, %		
	исходный	тяжелая фракция	легкая фракция
Золото, г/т	5	5	4
Серебро 10^{-5}	100	80	30
Мышьяк 10^{-3}	> 1000	> 1000	> 1000
Фосфор 10^{-3}	4	3	3
Галлий 10^{-4}	8	6	10
Германий 10^{-4}	1	1	1
Висмут 10^{-4}	2	2	< 1
Сурьма 10^{-3}	3	2	2
Скандий 10^{-3}	2	2	2
Кадмий 10^{-4}	25	25	25
Вольфрам 10^{-3}	1,5	1,0	0,6
Ниобий 10^{-4}	8	8	8
Бериллий 10^{-4}	1,5	1,5	1,5
Литий 10^{-3}	2	< 2	3
Цинк 10^{-2}	0,6	0,6	0,6
Хром 10^{-3}	3	2	2
Свинец 10^{-3}	20	25	6
Титан 10^{-1}	2	1,5	1,0
Ванадий 10^{-3}	6	5	6
Марганец 10^{-2}	60	40	20
Никель 10^{-3}	10	8	6
Барий 10^{-2}	10	8	4
Молибден 10^{-4}	4	4	3
Олово 10^{-4}	2	2	6
Медь 10^{-3}	6	6	10
Иттрий 10^{-3}	2	2	2
Цинк 10^{-3}	100	60	100
Кобальт 10^{-4}	80	50	100
Стронций 10^{-2}	3	3	2

Минералы мусковит и иллит присутствуют в породе в меньших количествах: 21,4–23,2 и 9,4–10,0 % соответственно.

Фракция каолинита присутствует в пределах 6,3 и 7,7%.

Остальные примеси распределены в образцах неравномерно и выявлены в малых количествах.

В малом количестве присутствует монтмориллонит.

На рис. 2 показана дифрактограмма образца ТФ № 2 месторождения Акжал.

Ниже показаны снимки образцов этого месторождения, распределенные по шкале крепости Протодяконова М.М.

Ниже представлены химико-минералогический элементный состав трех образцов – представителей от данной пробы (табл. 6) и результаты петрографического анализа образцов месторождения Акжал (табл. 7).

При нормальных условиях золото не взаимодействует ни с кислородом, ни с серой. Золото обычно растворяется в водных растворах, содержащих лиганд (образующий с золотом комплексы) и окислитель, но каждый из них в отдельности не способен

его растворить. В царской водке (смесь 3:1 (HCl + HNO₃) золото растворяется с образованием золото хлористоводородной кислоты H[AuCl₄]. Оно так же растворяется в хромовой кислоте в присутствии хлоридов и бромидов щелочных металлов в цианидных растворах в присутствии воздуха или пероксида водорода, в растворах тиосульфата, тиомочевины, в смеси *kj* + *j*₂.

Результаты спектрального анализа получены в лаборатории «Геоаналитика» на атомноэмиссионном спектрометре для определения содержания 70 элементов при содержании их до 10⁻⁵% с возможностью одновременного определения в каждой пробе до 40 элементов.

Как видно, результаты элементного и петрографического анализа подтверждают данные РФА по минералогическому составу, остальные элементы распределены по классу примесей.

Степени окисления золота + 1, + 2, + 3, + 5 [1]. В соединениях золото наиболее часто проявляет валентность + 1 и + 3. Двухвалентное золото устойчиво лишь в форме сульфида, остальные соединения разлагаются водой.

Таблица 7

Результаты петрографического анализа образцов месторождения Акжал

Наименование	Содержание, %		
	исходный	тяжелая фракция	легкая фракция
Окись кремния	> 50	> 50	> 50
Окись алюминия	> 10	> 10	> 10
Окись железа, общий	25	25	20
Окись магния	3	2	5
Окись кальция	5	5	3
Окись натрия	0,4	0,3	0,3
Окись калия	3	3	3

Таблица 8

Гранулометрический состав окисленной золотоносной руды месторождении Акжал

Вариант	Выход фракции при дроблении		Содержание золота во фракциях, %
	фракция, мм	фракция, %	
1	- 40...+ 20	43,0	4,8
	- 20...+ 10	34,0	1,3
	- 10...+ 5	10,0	1,1
	- 5...+ 2	5,0	0,5
	- 2...0	8,0	0,3
2	- 20...+ 10	39,1	3,4
	- 10...+ 5	10,0	0,8
	- 5...+ 2	16,0	1,0
	- 2...0	23,9	1,6
3	- 10...+ 5	9,9	0,08
	- 5...+ 2	36,1	1,38
	- 2...0	54,0	7,08

При повышенной температуре оно взаимодействует с теллуром с образованием AuTe_2 , реагирует со всеми галогенами. Наиболее реакционноспособен бром: с порошком золота он вступает в экзотермическую реакцию при комнатной температуре. Реакция золота с хромом проходит чрезвычайно медленно, благодаря образованию поверхностных соединений [4, 5]. При восстановлении солей золота дихлоридом олова образуется стойкий коллоидный раствор ярко-красного цвета, т.н. «кассиев пурпур».

Красно-бурый гидроксид $\text{Au}(\text{OH})_3$ выпадает в осадок при действии сильных щелочей на AuCl_3 . Соли $\text{Au}(\text{OH})_3$ с основаниями ауранты образуются при его растворении в сильных щелочах.

Характерная особенность золота – резко выраженная склонность к образованию комплексных соединений. Известны такие соединения, как: $[\text{AuCl}_2]$, $[\text{AuCl}_4]$, $\text{Au}(\text{OH})$, $[\text{Au}(\text{OH})_2]$, AuJ_2 и др.

Как видно из приведенных результатов, из вредных примесей присутствует мышьяк, содержание которого в среднем не превышает 0,1%. Каких-либо других вредных примесей и попутных компонентов в рудах не обнаружено. Содержание кремнезема колеблется от 47,94 до 66,76%, т.е. руды относятся к классу силикозоопасных.

Как было сказано выше, для предварительного исследования были отобраны пробы массой 25 кг окисленной золотосодержащей руды из отвала месторождения Акжал. Представительная проба была отобрана из отвала способом поверхностного вычерпывания, усреднена методом сбрасывания на конце, раздроблена, рассеяна и направлена на разделение по фракциям (табл. 8).

Как видно из приведенных в табл. 8 данных, при дроблении руды на фракции минус

40...0 наиболее высокое содержание золота наблюдается во фракции минус 40...+20 (вариант 1). При дроблении руды на фракции минус 20...0 наибольшая доля золота сконцентрирована в более крупной фракции – минус 20...+10.

Однако при дроблении руды до крупности минус 10...0 большая часть золота концентрируется в наиболее мелкой фракции – минус 2...0. Следовательно, с целью снижения потерь и повышения коэффициента извлечения золота руда должна быть раздроблена до крупности минус 40...+20. При более мелком дроблении, когда основное количество золота сконцентрировано во фракции минус 2...0, склонной к заиливанию, извлечение золота в раствор при выщелачивании может быть низким. Поэтому для мелких фракций рекомендуется процесс окомкования.

Таким образом, на этапе подготовки руды при предположенной технологии интенсивного кучного выщелачивания необходимо применять процессы дробления и окомкования.

Исследования показали, что с увеличением размера кусков руды от 40 мм и более (зачайная крупность) извлечение золота снижается на 30%. Измельчение руды до крупности минус 20...0 мм не способствует увеличению извлечения золота, что обусловлено свойствами руды и высокой степенью ее разрушения.

Исследования также показали, что в зависимости от крупности руды изменяется количество поглощенной кислоты, а это, в свою очередь, влияет на скорость выщелачивания. В табл. 9 приведены результаты исследований влияния гранулометрического состава руды на ее поглощающие способности для двух типов пород: легкоразрушающиеся (крепость 6–8) и трудноразрушающиеся (крепость 8–10).

Таблица 9

Зависимость поглощающей способности рудой цианистой кислоты от гранулометрического состава

Тип руды	Гранулометрический состав руды после дробления	
	фракция, мм	выход фракции
Трудноразрушаемая	– 40...+20	62,4
	– 20...+10	20,4
	– 10...+5	7,3
	– 5...+2	3,4
	– 2...0	6,8
Легкоразрушаемая	– 40...+20	43,0
	– 20...+10	34,0
	– 10...+5	10,0
	– 5...+2	5,0
	– 2...0	8,0

Полученные результаты позволили перейти к следующему этапу исследований – к определению способа складирования и последовательности складирования в зависимости от гранулометрического состава.

Укладку руды в штабель и ее обработку концентрированной кислотой предложено осуществлять особым образом. Куче при выдержке придается форма полусферы, причем крупные фракции руды закладываются в нижнюю часть кучи, а мелкие фракции – сверху. Это обеспечивает сохранение тепла внутри кучи длительное время и улучшает процесс вскрытия минералов за счет лучшего сохранения тепла, выделяемого при экзотермических реакциях.

Данные, полученные в лабораторных условиях, дают представление о перерас-

пределении элементов в каждой фазе, что является основанием для применения технологии интенсивного кучного выщелачивания золота месторождения Акжал.

Список литературы

1. Болотова Л.С., Романенко А.Г., Зайцева В.Н., Суворова Е.А. Новое в технологии извлечения золота «смола в пульпе» // Новости науки Казахстана. Научно-технический сборник. Комплексное использование минеральных ресурсов Казахстана. – Алматы, 1997. – С. 55–56.
2. Кубасов В.Л., Зарецкий С.А. Основы электрохимии. – М.: Химия, – 1985. – 134 с.
3. Лузин Б.С. Экономические проблемы золотодобывающей промышленности. – Алматы, 1999. – 142 с.
4. Попова Г.Б. Геохимические основы физико-химических методов разработки месторождений полезных ископаемых. – М.: МГИ. 1970. – 196 с.
5. Турчанинов И.А., Медведев Р.В. Комплексное исследование физических свойств горных пород. – М.: Недра, 1973. – 103 с.

УДК 549.67

СОРБЦИЯ ИОНОВ ЦИНКА ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПРИРОДНЫМ КЛИНОПТИЛОЛИТОВЫМ ТУФОМ

¹Еремин О.В., ¹Эпова Е.С., ¹Русаль О.С., ¹Филенко Р.А., ²Беломестнова В.А.,
²Федоренко Е.В.

¹Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, e-mail: yeroleg@yandex.ru,
Apikur1@yandex.ru, sergutsкая@mail.ru;

²МБОУ СОШ № 6, Чита, e-mail: filrom@yandex.ru, fedorenkokatyushka@rambler.ru

Для клиноптилолит-монтмориллонитовых туфов Шивиртуйского месторождения (Забайкалье) проведена модификация состава катионами натрия в хлоридных растворах. Природный и модифицированные сорбенты сравнивались в активности поглощения катионов цинка из водных растворов. Результаты экспериментов показали, что взаимодействие сорбентов в растворах хлорида натрия приводит к замещению кальция и калия в твёрдых фазах на натрий, что увеличивает сорбцию ионов цинка в несколько раз.

Ключевые слова: клиноптилолит-монтмориллонитовый туф, модификация цеолитов, сорбционная ёмкость, скорость поглощения

SORPTION OF ZINC IONS FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY NATURAL CLINOPTILOLITE TUFF

¹Eremin O.V., ¹Epova E.S., ¹Rusal O.S., ¹Filenko R.A., ²Belomestnova V.A.,
²Fedorenko E.V.

¹Institute of natural resources, ecology and cryology SB RAS, Chita, e-mail: yeroleg@yandex.ru,
Apikur1@yandex.ru, sergutsкая@mail.ru;

²Secondary school № 6, Chita, e-mail: filrom@yandex.ru, fedorenkokatyushka@rambler.ru

The modification of the composition by sodium cations for clinoptilolite-montmorillonite tuff of Shivyrtuy Deposit (Transbaikalia) has been carried out. Natural and modified sorbents was compared to the activity of the zinc cations absorption from aqueous solutions. The experimental results showed that the sorbent in sodium chloride aqueous solutions had exchanged the calcium and potassium ions on sodium, which increases the absorption activity of tuffs to zinc ions by several times.

Keywords: clinoptilolite-montmorillonite tuff, modification of zeolites, sorption capacity, absorption rate

Природные и синтетические цеолиты представляют класс каркасных алюмосиликатов щелочных и щелочноземельных металлов со связанной водой. Структура цеолитов состоит из системы связанных пор и каналов, что обеспечивает подвижность внекаркасных катионов и воды. Эти свойства цеолитов обусловили их широкое использование в качестве сорбентов.

С целью уменьшения негативного влияния горнорудной промышленности на окружающую среду активно изучаются свойства цеолитсодержащих пород (ЦСП) для очистки дренажных вод [3, 7, 10].

Клиноптилолитовые туфы являются одними из широко распространённых в природе ЦСП. Крупнейшее в России месторождение этого типа – Шивиртуйское – находится в Забайкалье [6]. Вулканогенно-осадочные туфы этого месторождения представляют диагенетическую ассоциацию клиноптилолита (до 90%) и монтмориллонита (до 20%) с небольшими количествами кварца, полевых шпатов, карбонатов. Свойства шивиртуйских пород описаны во многих рабо-

тах [2, 4, 6, 7]. Главные минералы – цеолиты и смектиты характеризуются скрытокристаллическим строением, частично рентгеноаморфны.

Ранее было показано, что основными обменными ионами шивиртуйских пород при взаимодействии с водами карьера олово-полиметаллического месторождения Шерловая Гора являются катионы натрия [7]. Одним из элементов загрязнителей водотоков на территории остановленного рудника Шерловая Гора является цинк. Концентрация его, например, во временных дождевых водоёмах достигает нескольких граммов в литре.

Для улучшения сорбционных свойств алюмосиликатов часто используют различные способы их подготовки. Условно их можно разделить на физические и химические по методам воздействия. Например, для увеличения сорбционной ёмкости к газам используют нагревание цеолитов с целью удаления связанной воды. Широко применяются методы механического измельчения, воздействия электромагнитных

полей и др. Химические методы модификации представляют замену катионов в результате ионного обмена [3]. Часто сорбенты обменивают ионами натрия, например, для повышения селективности к ионам аммония в сточных водах [8].

Целью настоящей работы является сравнение ионообменных свойств природного сорбента ЦСП Шивыртуйского месторождения (Ш) и натрий модифицированной его формы (Na-Ш) к катионам цинка в водных растворах.

Материалы и методы исследования

ЦСП, отобранные из карьера Шивыртуйского месторождения измельчались и просеивались. Кристаллическую структуру компонентов пород определяли методом порошковой дифрактометрии на дифрактометре Дрон-3 (CuK α – излучение) в АЦ ИЗК СО РАН г. Иркутск (аналитик Т.С. Филева). Для определения фаз глинистых минералов ориентированные образцы суспензий осаждались на стеклянную подложку и высушивались при комнатной температуре (BC), также образец был насыщен этиленгликолем (ЭГ) и прокалён до 550 °С (Т). На дифрактограмме (рис. 1) цифрами отмечены пики клиноптилолита, структурно не совершенного монтмориллонита, кварца и полевых шпатов.

В экспериментах использовался класс размерности – 1 + 0,5 мм. Предварительно образцы отмывали

дистиллированной водой с отделением взвеси и высушивали при температуре 25 °С.

Модификацию сорбента катионами натрия осуществляли в растворе NaCl с концентрацией 10 г/л. Взаимодействие проводили в химических стаканах при соотношении 2 г сорбента и 100 мл раствора при перемешивании в течение 24 и 72 часов (Т = 25 °С). Далее твёрдые фазы отмывали дистиллированной водой до отсутствия реакции на хлорид-ионы с нитратом серебра. Полученные образцы Na-Ш-24 и Na-Ш-72 высушивали при температуре 25 °С.

Сорбцию катионов цинка образцами Ш, Na-Ш-24, Na-Ш-72 проводили в химических стаканах в подкисленных HCl (pH = 4) растворах ZnCl $_2$ с концентрацией 2 г/л при соотношениях 2 г сорбента на 100 мл раствора в течение 48 часов при 25 °С. Полученные образцы отмывались дистиллированной водой до отсутствия реакции на хлорид-ионы.

Химический состав сорбентов (табл. 1, 2) определяли в аккредитованной лаборатории ЗАО «СЖС Восток лимитед» (г. Чита) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре Perkin Elmer NexION 300D (США), путем плавки с пероксидом Na. Содержание натрия определяли методом ICP на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой Perkin Elmer Optima 5300DV (США), с разложением проб в смеси кислот (HCl, HF, HNO $_3$, HClO $_4$).

Количество воды в сорбентах (табл. 1, 2) определяли методом синхронного термического анализа на приборе STA 449 F1 Jupiter фирмы NETZSCH (Германия).

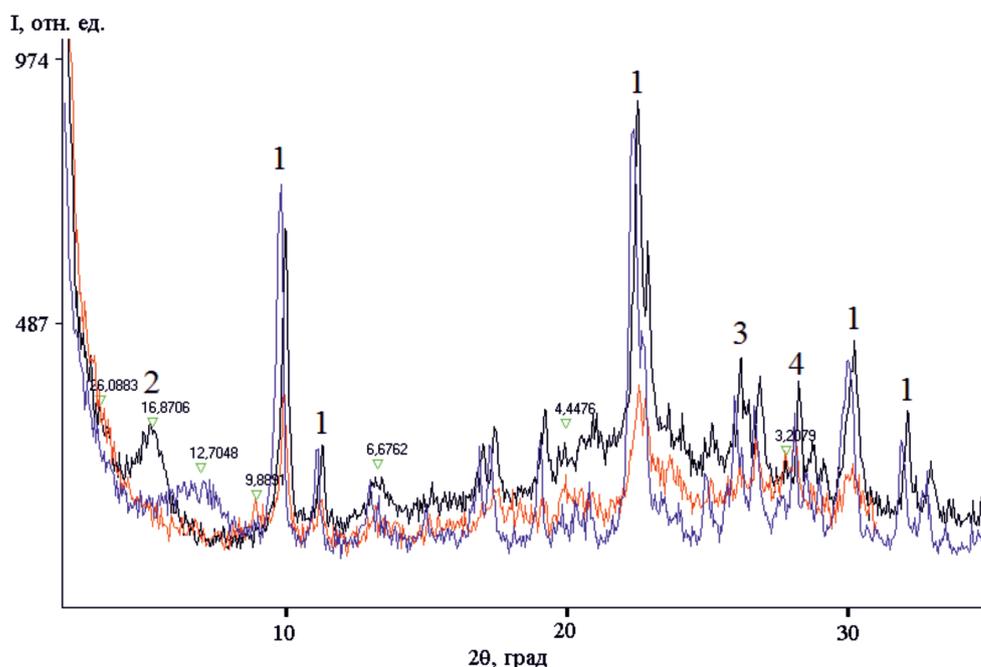


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма Шивыртуйской ЦСП (Ш) в разных условиях подготовки ориентированного образца: синий – высушенный (BC), черный с этиленгликолем (ЭГ), красный – прокалённый до 550 °С (Т). Пики 1 – клиноптилолит; 2 – смектит; 3 – кварц; 4 – полевой шпат. На рисунке приведены значения основных базальных расстояний монтмориллонита и гидрослюд [13]

Таблица 1

Химический состав сорбентов после Na-модификации

Компоненты, %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	Zn, г/т
Ш	64,21	13,79	2,54	0,93	1,28	3,86	11,54	53
Na-Ш-24	64,00	13,03	1,68	0,96	1,73	3,37	10,55	53
Na-Ш-72	63,80	13,03	1,40	0,95	1,85	3,25	10,68	56

Таблица 2

Химический состав сорбентов после взаимодействия с раствором хлорида цинка

Компоненты, %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	Zn, г/т
Ш-Zn	63,40	14,20	2,24	0,98	0,88	3,74	11,03	3510
Na-Ш-24-Zn	63,80	14,30	1,82	0,98	1,27	3,50	10,91	6400
Na-Ш-72-Zn	64,01	13,49	1,4	0,93	1,55	3,25	10,85	9150

Таблица 3

Количество E (мг-экв/г) обменных катионов сорбентов

Образцы сорбентов	E _{el}					E = ∑ E _{el}
	Ca	Mg	Na	K	Zn	
Ш	0,91	0,46	0,41	0,82	0,00	2,60
Na-Ш-24	0,60	0,48	0,56	0,72	0,00	2,36
Na-Ш-72	0,50	0,47	0,60	0,69	0,00	2,26
Ш-Zn	0,80	0,49	0,28	0,79	0,11	2,47
Na-Ш-24-Zn	0,65	0,49	0,41	0,74	0,20	2,49
Na-Ш-72-Zn	0,50	0,46	0,50	0,70	0,28	2,44

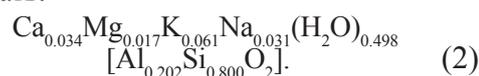
Результаты исследования и их обсуждение

Теоретическая сорбционная ёмкость или полная ионообменная ёмкость цеолитов определяется как сумма мг-экв внекаркасных катионов (Ca, Mg, K, Na), приходящаяся на один грамм цеолита [2]. Её величину можно рассчитать по заряду алюмосиликатного каркаса:

$$E = Al \cdot 1000 / M_r \text{ (мг-экв/г)}, \quad (1)$$

где M_r – молекулярная масса (г), Al – коэффициент алюминия в стехиометрической формуле цеолита.

По данным табл. 1, стехиометрическую формулу Ш в унифицированной для природных цеолитов форме [1] можно записать:



По данным табл. 1–2, рассчитаем значения E (1) для обменных катионов сорбентов (табл. 3). Рассмотрим изменение содержания внекаркасных катионов сорбента (Ш) при взаимодействии с раствором NaCl (рис. 2). Из рисунка можно видеть,

что катионы кальция и калия из твёрдых фаз обмениваются на катионы натрия из раствора.

Содержание цинка в образцах сорбентов до взаимодействия с раствором цинка меньше кларка земной коры 80 г/т. Взаимодействие пород с раствором хлорида цинка характеризуется различной ионообменной активностью (рис. 3, 4). Для образца (Ш) сорбция цинка сопряжена с уменьшением внекаркасных катионов натрия, кальция и калия (рис. 3). Модифицированные натрием образцы в аналогичных условиях поглощают в два (рис. 4) и в три раза (рис. 5) больше цинка по сравнению с Ш. Обмен катионов цинка при этом в образцах Na-Ш-24 и Na-Ш-72 происходит только с натрием. Незначительные увеличения количества Ca, Mg, K при сорбции цинка (рис. 4, 5) находятся в пределах ошибок методов аналитических определений элементов и округлений при формульных пересчётах.

Для формулы (2) теоретическая сорбционная ёмкость по (1) $E = 2,70$ (мг-экв/г) получается немного больше, чем для минерала клиноптилолита – $Na_3K_3[Al_6Si_3O_{72}] \cdot 24H_2O$, $K = 2,16$ (мг-экв/г). Формула (2) отличает-

ся от клиноптилолита отношением Al/Si, равным соответственно 0,25 и 0,20. Повышенное содержание Al для (2) можно связать с присутствием монтмориллонита – $(\text{Na,Ca})_x\text{Al}_{2-x}(\text{Fe(II),Mg})_x\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, значение Al/Si которого выше, чем у клиноптилолита.

Из рис. 2–4 можно видеть, что катионы магния практически не участвуют в процес-

сах ионного обмена. Предположим, что всё количество магния находится в октаэдрических слоях монтмориллонита [5]. В таком случае можно определить долю смектита по результатам силикатного анализа. Например, для сорбента III и формулы монтмориллонита $\text{Na}_{0,3}\text{Ca}_{0,35}\text{AlMgSi}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ содержание глины в породе составляет 9,9% по массе.

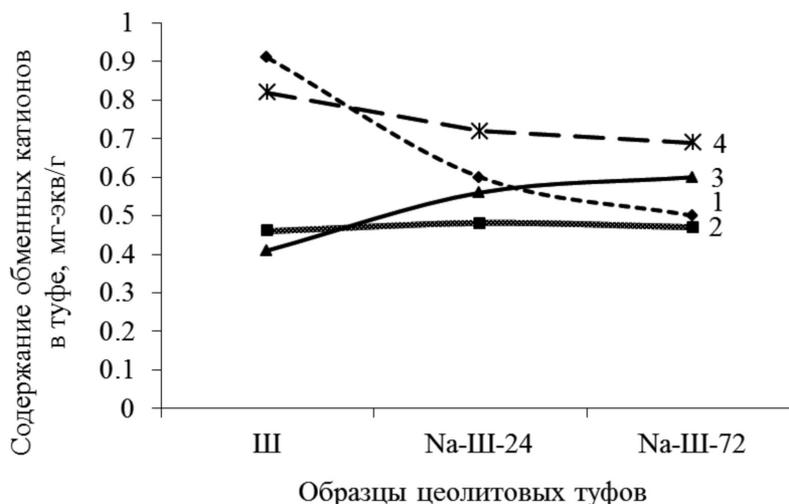


Рис. 2. Замещение обменных катионов при Na-модификации.
1 – Ca; 2 – Mg; 3 – Na; 4 – K

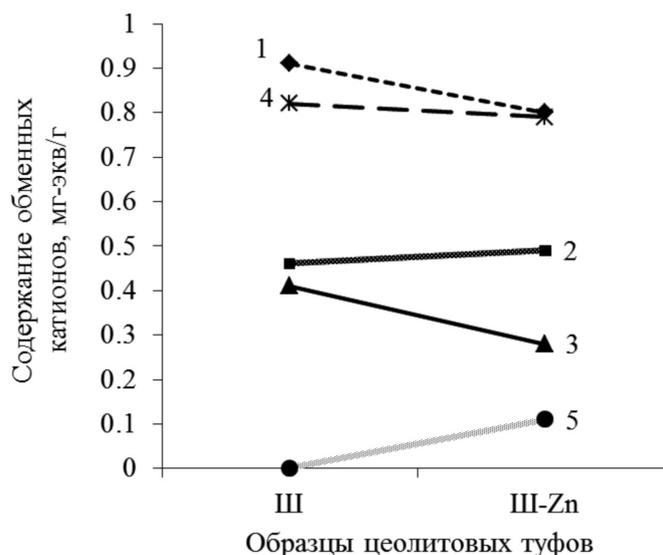


Рис. 3. Замещение обменных катионов при сорбции цинка.
1 – Ca; 2 – Mg; 3 – Na; 4 – K; 5 – Zn

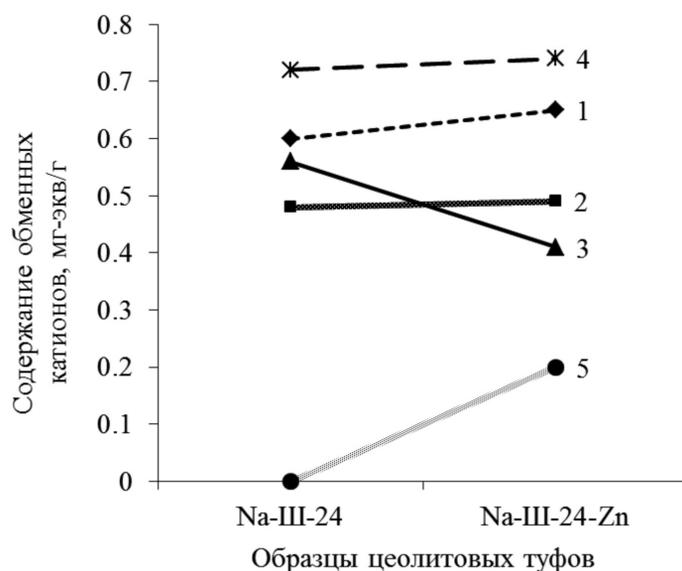


Рис. 4. Замещение обменных катионов при сорбции цинка.
1 – Ca; 2 – Mg; 3 – Na; 4 – K; 5 – Zn

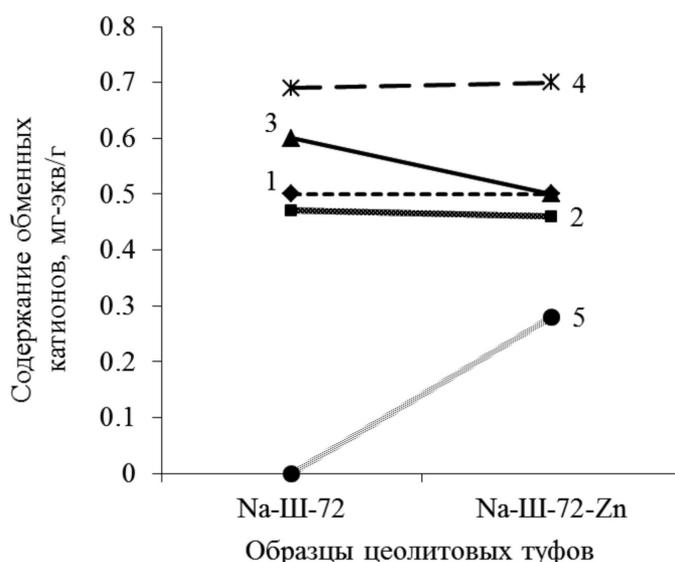


Рис. 5. Замещение обменных катионов при сорбции цинка.
1 – Ca; 2 – Mg; 3 – Na; 4 – K; 5 – Zn

Поглотительные свойства клиноптилолита и монтмориллонита сопоставимы с теоретическими и экспериментальными результатами работ [3, 9].

Сравнительный анализ экспериментальных изотерм сорбции клиноптилолитов, по данным разных авторов, приведённых в работе [8], показывает, что в среднем значения предельной сорбции цеолитов на половину

ниже их теоретических ёмкостей, максимальным её величинам отвечают коммерческие образцы сорбентов. Сорбционная ёмкость шивыртуйских пород, экспериментально определённая в работе [2], составляет 1,83 (мг-экв/г).

Из табл. 2 видно, что максимальное количество цинка – около 9 мг на грамм сорбента характерно для образца Na-III-72.

Заключение

Модификация натрием природного цеолитового туфа приводит к увеличению его сорбционной активности к ионам цинка из водных растворов. Взаимодействие сорбентов в водных растворах хлорида натрия приводит к замещению кальция и калия в твёрдых фазах на натрий, что увеличивает поглотительную активность туфов к ионам цинка в несколько раз. При этом катионы натрия модифицированных сорбентов представляют основные обменные с цинком ионы. Экспериментально показано, что в одинаковых условиях сорбция цинка из растворов пропорциональна содержанию натрия в сорбенте. Участие катионов кальция и калия модифицированных туфов в ионном обмене незначительно. Индифферентность катионов магния в процессах сорбции позволяет предположить его нахождение в октаэдрических слоях смектитовых минералов, что дает возможность оценить содержание глинистых минералов в цеолитовом туфе по данным химического анализа.

Исследования поддержаны РФФИ и правительством Забайкальского края (проект № 14-05-98012 p_сибирь_a).

Список литературы

1. Бакакин В.В., Серёткин Ю.В. Унифицированные формульные и объемные характеристики в сравнительной кристаллохимии природных цеолитов // Журнал структурной химии. – 2009. – Т. 50. – С. 123–130.
2. Богданова В.И., Белицкий И.А., Предеина Л.М., Галай Г.И., Дробот И.В. Определение ионообменной емкости цеолитсодержащей породы по сумме вытесненных из неё обменных катионов // Инструкция № 25. Комитет РФ по геологии и использованию недр, НСОММИ. – Новосибирск, 1993. – 16 с.
3. Ганебных Е.В., Свиридов А.В., Мальцев Г.И. Извлечение цинка из водных растворов высокодисперсными модифицированными алюмосиликатами // Химия в интересах устойчивого развития. – 2015. – Т. 23, № 1. – С. 89–95.
4. Никашина В.А., Стрелецкий А.Н., Колбанев И.В., Мешкова И.Н., Гринев В.Г., Серова И.Б., Юсупов Т.С., Шумская Л.Г. Влияние механической активации на свойства природных цеолитов // Неорганические материалы. – 2011. – Т. 47, № 12. – С. 1470–1475.
5. Осипов В.И., Соколов В.Н. Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств. – М.: ГЕОС, 2013. – 576 с.
6. Павленко Ю.В., Белицкий И.А., Серёткин Ю.В. Шивиртуин – цеолитсодержащий туф Восточного Забайкалья // Геология и геофизика. – 1989. – № 7. – С. 116–119.
7. Эпова Е.С., Ерёмин О.В., Филенко Р.А., Юргенсон Г.А. Изучение комплексной сорбции в системе геотехногенные растворы – цеолитовые породы // Химия в интересах устойчивого развития. – 2013. – № 21. – С. 207–210.
8. Jha V.K., Hayashi S. Modification on natural clinoptilolite zeolite for its NH₄⁺ retention capacity // Journal of Hazardous Materials. – 2009. – № 169. – P. 29–35.
9. Krishna G.B., Susmita S.G. Adsorption of a few heavy metals on natural and modified kaolinite and montmorillonite: A review // Advances in Colloid and Interface Science. – 2008. – № 140. – P. 114–131.
10. Xu W., Li L.Y., Grace J.R., Hebrard G. Acid rock drainage treatment by clinoptilolite with slurry bubble column: Sustainable zinc removal with regeneration of clinoptilolite // Applied Clay Science. – 2013. – № 80–81. – P. 31–37.

УДК 662.756.662.612.

ТЕХНОЛОГИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ЛИКВИДАЦИИ РОЗЛИВОВ НЕФТИ НА МОРЕ, ОКЕАНЕ

¹Захматов В.Д., ²Щербак Н.В., ²Гуменюк В.И.

¹Институт океанологии РАН, Москва, e-mail: zet.pulse@gmail.com;

²Санкт-Петербургский политехнический университет, Санкт-Петербург

Обсуждается внедрение новой технологии быстрой и качественной ликвидации розливов нефти на акватории. Наиболее перспективными, с точки зрения универсального распыления малоплотных гранул различных размеров, являются импульсные распылительные пороховые системы. Предложена и испытана новая схема снаряжения ствола, позволяющая получить «охлажденную» метательную газовую волну, но с достаточно мощным метательным воздействием. Описана оригинальная установка импульсного распыления биологических адсорбентов, приводятся данные полигонных испытаний. Оптимальные диапазоны – V_0 обеспечивают дальнейшее и крупномасштабное распыление из одного ствола массы биосорбента в 1,5 кг и равномерное распределение биосорбента по значительной площади до $S_p = 35\text{ м}^2$, в диапазоне удельных расходов $M_{\text{уд}} = 15\text{--}25\text{ г/м}^2$ согласно паспорту биосорбента. Обосновано предложение технологического процесса, оборудование для практического использования в виде стационарных, палубных модулей на кораблях, например, на скоростных аварийно-спасательных больших катерах, маневренных портовых буксирах, танкерах, морских нефтедобывающих платформах.

Ключевые слова: импульсное распыление, распыление выстрелом, распыление залпом, многоствольная установка, биологический сорбент, распылительный заряд

PULSE PULVERIZATION OF BIOLOGY SORBENTS FOR LIQUIDATION OF OIL SPREAD AT WATER.

¹Zakhmatov V.D., ²Scherbak N.V., ²Gumeniuk V.I.

¹Institute of Oceanology of Russian Academy of Science, Moscow, e-mail: zet.pulse@gmail.com;

²Sankt-Peterburg politechnical university, Sankt-Peterburg

The possibility of new technology for fast and quality liquidation of oil spreads at water surface, original pulse-pulverizing multibarrels unit for long range and large scale pulverization of biology sorbents, results of field-range test and future development of the technology is discussed. There discuss the introduction of a new technology for fast and high-quality oil spills in the waters. The most promising in terms of the universal low-density spray granules of various sizes, are pulsed powder spray system. Proposed and tested a new scheme trunk equipment, which allows to get «chilled» throwing gas wave, but rather a powerful propelling action. We describe the original installation pulsed spray biological adsorbents are these field tests. The optimal range- V_0 provides further and large-scale spraying of one barrel weight biosorbent 1,5 kg and uniform distribution biosorbent on a large area to the $SP = 35\text{ м}^2$, in the range of unit costs $M_{\text{уд}} = 15\text{--}25\text{ г/м}^2$ according to the passport biosorbent. Sound proposals process, equipment for practical use in a stationary deck units on vehicles, such as high-speed rescue boats large, maneuverable harbor tugs, tankers, offshore oil platforms.

Keywords: pulse pulverization, shoot pulverization, volley pulverization, multibarrels module at deck, biology sorbent, pulverizing charge

Наиболее убыточны и опасны для экологии России и Украины разливы нефти на многочисленных судоходных реках, акватории Черного, Азовского, Белого, Баренцева, Охотского и других морей. Потенциально опасны надводные танкеры, перевозящие большие количества нефтепродуктов [2, 3]. Ежегодно в акваторию Мирового океана поступают $10^7\text{--}10^8$ т нефти и нефтепродуктов: с промышленными и бытовыми стоками – 37%, регулярные РН от эксплуатации кораблей и судов – 33%, аварийные РН от аварий судов – 12%, с атмосферными осадками – 9%, фильтрация из природных источников – 7%, РН при геологоразведке, нефтедобыче – 2% [3]. Реально новой техникой возможно ежегодно снижать выделенные 47%. Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов (именуемые в дальнейшем одним словом

«нефть») наиболее опасны в прибрежной части акватории, т.к. они непредсказуемы, локальны, высококонцентрированы и поэтому наносят значительные, неликвидируемые или трудно ликвидируемые естественным способом экологические ущербы окружающей среде [2]. Наиболее крупными разливами нефти являются:

1. Танкер «Брайер» у Шетландских островов, разлито более 80 000 тонн нефти (1993 г.).

2. Танкер «Престиж» у испанского побережья, разлито более 2000 т нефти (2003 г.).

3. Танкер «Волгонефть – 139» в Керченском проливе у косы Тузла, разлито более 2000 т нефти и мазута (11.11.2007 г.).

4. Танкер в Индонезийском проливе, разлито более 1000 т нефти (декабрь 2007 г.).

5. Танкер у берегов Норвегии, разлито более 600 т нефти (январь 2008 г.).

6. Танкер в Балтийском море у Гданьска, Польша, разлито более 300 т нефти (январь 2008 г.).

7. Морская нефтедобывающая платформа в Мексиканском заливе, разлито более полумиллиона тонн нефти – впервые зафиксированный в истории, как глобальная катастрофа (май 2010).

Анализ предшествующих исследований.

Недостаточно развита техника ликвидации и нейтрализации разливов нефти, которая конструктивно одинакова во всех странах и отличается лишь качеством изготовления. Это небольшие корабли или катера, оснащенные бакенами для локализации разливов и установками сбора нефтяной плёнки с поверхности воды [3, 4]. Есть различные пористые адсорбенты, впитывающие нефтяную плёнку и биологические сорбенты, именуемые в дальнейшем **биосорбентами**, одновременно нейтрализующие нефть, но нет установок для быстрого и равномерного распыления лёгких гранул сорбентов по большим площадям, что препятствует их широкому применению [4, 5].

Для ликвидации разливов нефти требуется множество кораблей-сборщиков нефти и длительная, тяжелая, опасная работа сотен спасателей, в том числе по разбрасыванию лопатами с бортов корабля адсорбентов, впитывающих нефть, сбору адсорбентов, насыщенных нефтью с поверхности воды, грязной смеси адсорбентов, нефти, водорослей, камней и песка с нефтью с загрязнённого берега; транспортировки и утилизации этих отходов. Например, в Керчи в 2008 г. тысячи тонн отходов много месяцев лежали в порту, загрязняя землю и акваторию, а затем их возили на утилизацию в Кировоград за 500 км. Разбрасывание адсорбентов лопатами по поверхности нефтяной плёнки характеризуется низким КПД, не более 10% от разбрасываемой массы адсорбентов работают эффективно из-за ряда причин: неравномерности разбрасывания, массового уноса гранул ветром, многократного прохождения корабля по разливу нефти. Попытки приспособить для этой цели механические и пневматические устройства успеха не имели [4]. Широкое использование военных для ликвидации последствий катастроф характеризуется низкой эффективностью, но связано с многочисленными тяжёлыми и смертельными травмами. Военнослужащие работают только с лопатами, так как не могут быстро освоить и эффективно применять традиционную, сложную спасательную технику, им нужна

техника близкая по устройству и методам применения к оружию [4, 5].

В Украине и прилегающих к её побережью акваториях Черного и Азовского морей уже нет ни одного корабля для сбора разливов нефти – в советское время их было пять. Они все проданы на Каспий для нефтепромыслов, арендуемых английскими фирмами. Казахское правительство требует соблюдения экологических норм на своих нефтегазразработках, в отличие от России, где эти требования слабее, и тем более Украины, которая практически не финансирует природоохранные мероприятия. Американский корабль-сборщик стоит до 100 миллионов американских долларов [4]. В России нет производства кораблей нефтесборщиков. Поэтому должное соблюдение экологических норм может быть обеспечено быстро и эффективно только путём создания нового технологического процесса и оборудования, значительно повышающего дальность и площадь равномерной локализации разливов нефти. Наиболее эффективны новые технологии локализации нефти путём распыления сорбентов и особенно биосорбентов, гранулы которых не только впитывают нефть и нефтепродукты, но и перерабатывают их в нейтральные соединения. Известная распылительная техника – пневматическая и механическая [2, 4, 5] не в состоянии обеспечить распыление малоплотных, относительно крупноразмерных, пористых гранул сорбентов и биосорбентов на дальности более 3 м и, следовательно, по большим площадям. Модернизация этой традиционной техники не представляется перспективной, ввиду того, что даже незначительное повышение радиуса и масштаба распыления связано с многократным увеличением размеров, веса, технической сложности и стоимостью распылительных установок [5]. Требуемая дальность распыления – не менее чем с 20 м от границы нефтяной плёнки из-за необходимости снижения турбулизации нефтяной плёнки струёй воды от винтов корабля, что затрудняет эффективную работу биосорбента.

Наиболее перспективными, с точки зрения универсального распыления малоплотных гранул различных размеров, являются импульсные распылительные пороховые системы. Однако нет опыта их применения для распыления адсорбентов и легковоспламеняющихся биосорбентов – это как порох распылять порохом. Распыление адсорбентов с вертолётной платформы в потоке от вертолётного винта применялось в Мексиканском зали-

ве – показаны низкая прицельность, унос ветром до 90% адсорбента и его неравномерное распределение по нефтяному пятну.

Цель работы – разработка технологического процесса и оборудования для дальнейшего, равномерного и масштабного разбрасывания биосорбентов по пленке нефти в море, океане.

Для распыления выбираем заряды быстросгорающего пороха, как надежный, компактный источник мощной, метательной газовой волны, мало зависящий от внешних условий – прежде всего давления внутри канала ствола и в камере сгорания – патроннике. Такие заряды позволяют создавать распылительные стволы наиболее простых конструкций и наименьшего веса. Для моделирования работы данного ствола выбран анализ классической задачи внутренней баллистики – рассмотрение параметров состояния пороховых газов в пространстве между камерой сгорания и задней границей ускоряемой массы, а также параметрами создаваемой в канале ствола газодисперсной смеси. Математически корректное решение задачи внутренней баллистики сложно и практически невозможно из-за мультифакторности и нестационарности процессов теплообмена, массообмена, передачи кинетической энергии пороховых газов частицам распыляемой массы; диссипации – потери энергии пороховых газов на нагрев воздуха, ствола, частиц распыляемой массы; разрушение этих частиц.

Данная расчётная методика позволила установить, что максимальная дальность полета частиц биосорбента с удельным весом 0,1–0,15 г/куб.см с характерным размером от 1 до 3 мм не может превышать 3,5 м, практически при любых начальных скоростях, вплоть до 120 м/с. Показано, что расчётным путём практически невозможно получить достоверные данные – нет замкнутой модели, описывающей процессы образования и распространения импульсного двухфазного потока и его разрушение, торможение под воздействием аэродинамического сопротивления, а также процесс функционального взаимодействия фронта импульсного потока с активной поверхностью: нефтяной плёнкой или конденсированной высокотемпературной поверхностью. Однако данная модель позволила понять механизм распространения газодисперсного шквала и предложить перспективные пути для экспериментального исследования.

Впервые данная техника использовалась при ликвидации разливов нефти при тушении грандиозного пожара «куста» из 14 скважин на нефтедобывающей, морской платформе в районе Нефтяных Камней, Каспийского моря. Самолетом АН-124 из Киева в Баку и далее на корабле в район Нефтяных Камней были доставлены 3 многоствольных (25, 9 и 8 стволов) модуля (ММ) с командой под руководством автора. Эти модули испытывались в реальной обстановке и были вспомогательными для пожарно-аварийной Волжско-Каспийской флотилии: традиционных пожарных кораблей с лафетными, водяными пожарными стволами и кораблей-сборщиков нефти. ММ выполняли последовательно две задачи: участие в огнетушащей атаке на горящий многоструйный фонтан, для чего ММ расставлялись на палубе финского крана и с дистанции до 100 м давали залп до 42 стволов, который создавал мощный газопорошковый вихрь с фронтом шириной до 12 м или газоводяной шквал с фронтом шириной до 15 м. Это вихрь-шквал в момент достижения пика огнетушащей атаки – максимально возможной интенсивности подачи воды из совокупности лафетных стволов – кратковременно, на 1–3 сек, но многократно, до 3–5 раз усиливал её мощность, что гарантировало успех тушения. После тушения происходила высадка на аварийную платформу ремонтной бригады, которая в течение нескольких минут проводила перекрытие нефтяных скважин, затем бригаду эвакуировали и вновь поджигали скважины и разлившуюся нефть. Однако за эти несколько минут в море выливалась большая масса нефти, которую надо было срочно собирать с акватории, во избежание её распространения по морю. Это был довольно длительный процесс, для участия в котором ММ перегружались с высокооборотного финского крана на широкую кормовую палубу торпедолова. ММ использовались для дистанционного (до 30–40 м) и масштабного распыления сорбентов – торфяной крошки по разливу нефти. Это имело довольно важное значение для помощи судам-сборщикам нефти в основном как зачистка акватории от остатков плёнок нефти после работы этих судов.

Второе крупное применение ММ для распыления сорбентов по нефтяным разливам осуществлялось в 1998 на реке Белой ниже Уфы для ликвидации разлива нефти после аварии на Уфимском НПЗ, в ходе которой произошли пожары, разрушившие резервуары с нефтью (5000, 10000, 20000 т), и часть разлива нефти попала в реку Бе-

люю. В Башкортостане с 1996 работают три 50-ствольные установки «Импульс-3М»: одна в Кумертау на крупнейшем подземном газохранилище, две в Уфе в центральном пожарном отряде. Эти две установки с берегов реки Белой распыляли сорбент-горючую крошку по разливу нефти.

Более качественными являлись испытания в районе Севастополя палубного ММ-10 (10-стволов), распылявшего био сорбент по разливу нефти после катастрофы в Керченском заливе. Впервые было проведено исследование и отработана технология дистанционного (до 55 м) и масштабного (до 450 м²/сек) распыления легковоспламеняющегося биосорбента – пористых гранул с размещёнными внутри пор бактериями. Эти бактерии могут находиться несколько лет в состоянии спячки и пробуждаются при контакте с водой – пресной или морской. Бактерии в довольно узком температурном диапазоне + 10 °С–50 °С эффективно поглощают нефтяную плёнку до 10 раз больше по весу, чем вес самой частицы сорбента. Затем в течение отрезка времени – от нескольких десятков минут до нескольких часов – бактерии перерабатывают нефть в инертный остаток, при этом частица сорбента набирает вес, увеличивая плотность таким образом, что после окончания процесса нейтрализации нефти, частица сорбента теряет плавучесть и тонет до дна, не загрязняя слой воды.

В период с 08.07.2008 г. проводились полигонные испытания установки импульсного распыления биосорбента. Объекты испытаний: десятиствольная установка «Импульс-10Л» (лафетный вариант), биосорбент марки «Эколан». Место проведения испытаний – г. Севастополь, с. Хмельницкое, площадка уничтожения боеприпасов.

Показано, что «старая» схема снаряжения порохового ствола, разработанная для распыления огнетушащего порошка или охлаждающей жидкости, непригодна для импульсного распыления малоплотных, легковоспламеняющихся гранул биосорбента (ЛГБС). Порошок значительно отличается от биосорбента: в 5–7 раз больше по удельному весу, в 50–100 раз меньше по размеру частиц. Поэтому из одного ствола 200 мм калибра распыливалось не более 1,5 кг ЛГБС. Величина распылительного заряда составляла 50 г, 75 г, 100 г, 150 г. Заряд инициировался пировоспламенителем – пиропатроном марки ПП-3, или ПП-7, ПП-9. Прямое воздействие ударной волны пороховых газов, релаксированной с помощью

сухих поролоновых пыжей и высокоэластичных пленочных оболочек, но неохлаждённой, показало, что сгорало полностью или заметно обгорало от 50 до 80 % массы гранул биосорбента, в зависимости от величины распылительного порохового заряда. По материалам видеосъёмки было ясно видно, что из среза канала ствола вырывался столб пламени длиной от 1,5 м до 4,5 м, а впереди него летела только незначительная, несгоревшая часть массы гранул ЛГБС. Данная зависимость также подробно не изучалась по вышеназванным причинам. Чувствительные к воздействию высокой температуры, не более 60 °С, бактерии уничтожались, даже если частица обгорела лишь незначительно.

Предложена и испытана новая схема снаряжения ствола, позволяющая получить «охлаждённую» метательную газовую волну, но с достаточно мощным метательным воздействием. Это достигалось не только традиционным способом-введением в заряд пламегасящей добавки – парафина, но и новым пыжом из водонаполненного поролон.

В первой серии испытаний проводился подбор оптимальной величины распылительного заряда путем серии одиночных выстрелов из одного ствола. При этом постоянной величиной являлась распыляемая масса биосорбента $m = 1,5$ кг, заполняющая канал ствола на протяжении 600 мм.

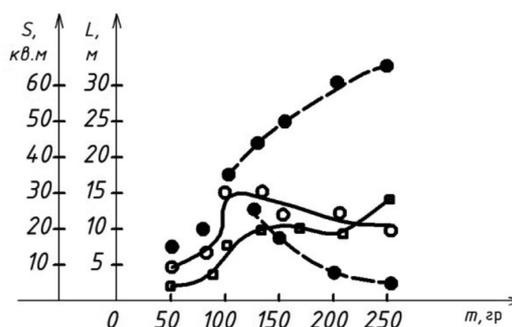


Рис. 1. Зависимость дальности движения континуума гранул биосорбента L и площади равномерного распределения гранул и их эффективного воздействия S от величины распылительного заряда – m

Величины дальности и площади распыления, а также качество – полнота локализации и нейтрализации плёнки разлива нефти на площади распыления определялись визуально и по материалам видеосъёмки. На рис. 1 показаны полученные графические

зависимости величин основных параметров распыления и функционального воздействия – дальности и площади – от величин распылительного заряда и от начальной (дульной) скорости распыления на срезе ствола.

При выбросе ЛГБС из ствола образовывался равномерный, газодисперсный, вихревой, локальный фрагмент (континуум) с мощной несущей, газовой фазой. На всём протяжении траектории полёта происходит равномерное аэродинамическое разруше-

ние континуума с сопутствующим эффектом проникающего, равномерного напыления гранул ЛвБС по значительной площади нефтяной пленки. Континуум «скользит» по поверхности нефтяной плёнки, оставляя за собой равномерное, сплошное покрытие гранулами биосорбента площади каплевидной формы, расширяющейся по траектории от среза ствола. Такое напыление обеспечивает хороший контакт гранул с нефтяной пленкой и соответственно эффективное впитывание нефти порами этих гранул.



Рис. 2. Фрагмент залпового распыления 7,5 кг биосорбента залпом из 5 стволов до 55 м, с равномерным покрытием слоем биосорбента площади до 450 м²



Рис. 3. Распыление 200 кг мелкодисперсного порошка на дальность до 240 м, площадь накрытия до 2500 кв.м

Изменение величины распылительного заряда позволило получить зависимости изменения величин площади и дальности распыления. Их анализ показал наличие явно выраженных диапазонов оптимальных значений величин распылительного заряда- m и соответственных величин начальных скоростей распыления – V_0 , при которых достигаются наибольшие и стабильные значения площади – S и дальности – L эффективного воздействия. От начальных величин скоростей распыления – V_0 (производная от m) до указанного диапазона их оптимальных величин, происходит устойчивое возрастание величин дальности распыления – L , площади – S равномерного покрытия и соответственно локализации-нейтрализации нефтяной пленки. После достижения максимальных величин указанного диапазона оптимальных значений – L , S , начинает проявляться эффект различия величин дальностей – L и площадей распыления – S_p и эффективного функционального воздействия-тушения S_t . Это различие возрастает по мере дальнейшего увеличения начальной скорости распыления – V_0 .

Оптимальные диапазоны – V_0 обеспечивают дальнейшее и крупномасштабное распыление из одного ствола массы биосорбента в 1,5 кг и равномерное распределение биосорбента по значительной площади до $S_p = 35 \text{ м}^2$, в диапазоне удельных расходов $M_{уд} = 15\text{--}25 \text{ г/м}^2$ согласно паспорту биосорбента. Внимательный осмотр зоны нефтяного разлива, покрытой равномерным слоем распыленного биосорбента, показал, что большая часть гранул

биосорбента – до 80–90% эффективно впитывают и перерабатывают нефтяную пленку в пределах временного отрезка до 2 часов, как и для случая ручного распыления биосорбента. При этом потери биосорбента в пределах 10–20% от исходной распыляемой массы в 10–100 раз меньше, чем потери при распределении биосорбента по данной площади 35 м^2 традиционным методом – вручную с помощью лопаты или совка.

Обоснована перспективность залпового распыления для увеличения дальности и площади импульсного распыления биосорбента (рис. 2). Исследовались имеющие наибольшее практическое значение зависимости изменения величин дальности и площади распыления биосорбента по разливу нефти от расстояния между соседними стволами, участвующими в залпе и общего количества стволов в залпе (рис. 3).

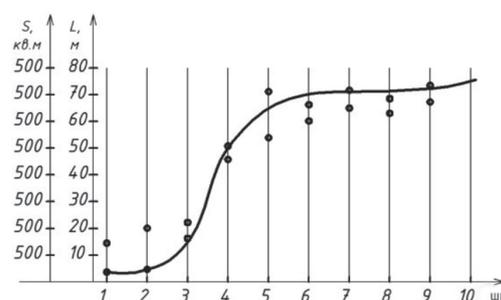


Рис. 4. Зависимости дальности L и площади S распыления от количества стволов N , участвующих в залпе



Рис. 5. Распыление 10 кг сорбента в водной среде из подвешенного контейнера емкостью 220 л с высоты 25 м

Убедительно показало главное преимущество импульсного, залпового распыления, свойственного только газодисперсным, струйным вихрям, – их взаимное усиление при слиянии. Данный процесс обеспечивается оптимальным взаимодействием составляющих струйных вихрей из отдельных стволов, расположенных в заданном порядке, например шахматном, и при этом расстояния между соседними стволами должны быть в определённом диапазоне величин. Именно эти условия обеспечивают создание мощных вихрей с многократно повышенной дальностью распространения и площадью эффективного воздействия, по сравнению с суммарной площадью воздействия отдельных струй, составивших единый вихрь. Например, дальность распыления $m_5 = 7,5$ кг биосорбента из 5 стволов. Масштабы площади S_5 воздействия суммарного вихря повышались в 1,5–2,5 раза по сравнению с арифметической суммой площадей $S_{1-5} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5$ воздействий этих отдельных элементов, составивших единый вихрь. Повышена дальность функционального воздействия до $L = 53$ м (в 4,5 раза более по сравнению с выстрелом-распылением из одного ствола) и величина площади равномерного распыления биосорбента до

$S_5 = 450$ м² при залпе из 5 стволов, расположенных в шахматном порядке. Это в 2,3 раза больше, чем сумма отдельных площадей S_{1-5} эффективного воздействия при последовательном распылении из 5 стволов.

Для сравнения: залповое воздействие боевых ракет или снарядов не увеличивает дальность их полёта, а только повышает площадь поражения до 1,5 раза, по сравнению с арифметической суммой площадей поражения такого же количества отдельных взрывов ракет и снарядов. Есть основания предположить, что эффективность работы импульсно-распылительного модуля и боеприпасов для него вполне сравнима по надёжности, стабильности и масштабам воздействия с современным вооружением.



Рис. 6. Ручной распылитель геля, порошка, сорбента

При ликвидации разливов нефти в Мексиканском заливе большая роль в операциях распыления сорбентов отводилась вертолётам. Однако они не оправдали надежд – большая часть сорбента до 95% уносилась по ветру и не достигала поверхности нефтяной плёнки. Нами отработана технология импульсного распыления сорбентов из подвесных контейнеров равномерно по площади до 200–400 кв.м, а при распылении сорбентов из 4 контейнеров залпом достигается площадь распыления до 2500 кв.м.

В каждом торговом порту, речном или морском, ежедневно происходят десятки мелких разливов нефти и нефтепродуктов, для ликвидации которых дорого и сложно применять вертолётные, подвесные распылители или спасательные корабли с многоствольными модулями. Эти разливы можно быстро ликвидировать с помощью катеров, оснащённых ручными или зафиксированными на борту катера ручными распылителями сорбентов. Эти распылители могут с дистанции до 15 м ликвидировать плёнки нефти на воде.

Полученные высокие значения функциональных показателей позволяют уверенно предлагать технологический процесс и оборудование – многоствольный модуль импульсного распыления биосорбентов для практического использования в виде стационарных, палубных модулей на кораблях, например, на скоростных аварийно-спасательных больших катерах или маневренных портовых буксирах. Достигнутая дальность эффективного распыления позволяет кораблям «расстреливать» разливы нефти и нефтепродуктов, не входя в зону разлива, так как после прохождения любого корабля или судна, особенно скоростного, по нефтяной плёнке трудно её ликвидировать. Масштаб эффективного распыления позволяет малому количеству кораблей (2–4 на акваторию порта и прилегающую территорию побережья) надёжно и быстро ликвидировать различные нефтяные разливы вплоть до крупномасштабных. Для защиты определённого участка морского побережья, находящегося

между этими портами, целесообразно оснастить этими установками минимум по 2–3 вспомогательных судна в каждом порту – буксиры, пожарно-спасательные. Вся полоса побережья поделена между портами на зоны их ответственности. Судна с распылительными установками от каждого порта работают по своей зоне при разливах нефти, не превышающих по площади и по массе разлитой нефти среднюю величину.

Выводы

Создание такой системы импульсной защиты позволит в значительной степени, качественно повысить степень обеспечения экологической безопасности акваторий рек, морей, океана и их прибрежных зон. Целесообразно выделить финансирование для проектирования и изготовления опытно-промышленной партии корабельных, стационарных, палубных многоствольных модулей и оснащения ими пяти аварийно-спасательных кораблей, а также закупки 5000 комплектов распылительных патронов и специальных, герметичных контейнеров, которые будут заполнены ранее закупленным биосорбентом.

Список литературы

1. Бровченко И.А. Численное моделирование распространения нефтепродуктов в прибрежных зонах морей и внутренних водоёмах. Диссертация. – Киев, 2005. – С. 55–57.
2. Захматов В.Д., Щербак В.Г. Новая техника локализации разливов нефти на море. // ISSN 0869-7493 Пожаровзрывобезопасность. – Москва, 2010. – Т. 19, № 6. – С. 56–63.
3. Захматов В.Д., Щербак Н.В. Новая техника для реализации современных, информационных технологий при ликвидации последствий экологических катастроф // ISSN 0869-7493 Пожаровзрывобезопасность. – Москва, 2010. – Т. 19, № 9. – С. 40–44.
4. Brovchenko I.A. Model of oil spread distribution at seaside water areas, rivers and lakes. Thesis, Kiev – 2005.
5. Masilin O.M. Evaluation of oil spread's soiling of bottom and seaside water of Crimea as a result of ship's transport. / Thesis of 11 Ukraine science-applied conference «Accidents management». Kiev, IDYCZ YCZY, 2009 – 385p.
6. Sherback N.V. New military equipped – pulse technology for liquidation of consequences of ecology accidents. // Ecology and resourches. Т. 19. – Kiev – 2008. – P. 73–79.
7. Sherback N.V., Zakhmatov V.D., Kovalev S.O., Gaidei V.V. New technology for oil spread's localization at sea. // Oil and gas industry. – 2008. – № 6(242). – P. 55–57.

УДК 556.555.4:551.51

РЕАКЦИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МАЛЫХ БОРЕАЛЬНЫХ ОЗЕР НА РАЗЛИЧНЫЕ СЦЕНАРИИ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

¹Здоровеннова Г.Э., ^{1,2}Голосов С.Д., ²Зверев И.С., ¹Здоровеннов Р.Э., ¹Тержевник А.Ю.

¹ФГБУН «Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН», Петрозаводск, e-mail: zdorovennova@gmail.com;

²ФГБУН «Институт озераведения РАН», Санкт-Петербург, e-mail: sergey_golosov@mail.ru

Серия численных экспериментов, проведенных с использованием простой одномерной модели FLake, позволила оценить влияние возможных изменений атмосферной нагрузки на термический режим озер умеренной зоны в течение года. В качестве модельных объектов рассматривались озера со средней глубиной 5, 10 и 15 м, с двумя вариантами прозрачности воды (1 и 3 м по диску Секки) для четырех климатических сценариев. Показано, что наиболее серьезным изменениям подвержены мелкие озера: при понижении прозрачности воды термоклин в них формируется в самом начале лета и существует до начала осени. В такой ситуации повышается потенциальный риск развития дефицита кислорода в придонных слоях озер.

Ключевые слова: термический режим, бореальное озеро, атмосферное воздействие

RESPONSE OF THE THERMAL REGIME OF SMALL BOREAL LAKES ON DIFFERENT SCENARIOS OF ATMOSPHERIC FORCING

¹Zdorovennova G.E., ^{1,2}Golosov S.D., ²Zverev I.S., ¹Zdorovennov R.E., ¹Terzhevnik A.Y.

¹Northern Water Problems Institute, Petrozavodsk, e-mail: zdorovennova@gmail.com;

²Institute of Limnology, St.-Petersburg, e-mail: sergey_golosov@mail.ru

A series of numerical experiments conducted with a simple lake model FLake, allowed us to assess the possible impact of varying atmospheric forcing on the thermal regime of shallow boreal lakes in the course of year. The lakes with an average depth of 5, 10 and 15 m, with two versions of water transparency (1 and 3 m of Secchi disc depth) for the four climate scenarios are considered. It is shown that the most significant changes in the thermal regime of small boreal lakes occur with decreasing transparency. In this case, the lake thermocline may exist for the whole summer. Potential risk of oxygen deficiency in the bottom layers of the lake rises in that situation.

Keywords: thermal regime, boreal lake, atmospheric forcing

Одной из актуальных задач современной лимнологии является прогноз состояния озерных экосистем в условиях меняющихся природных условий и непрерывно растущей антропогенной нагрузки. Особая роль при этом принадлежит разработке методов прогноза и оценки пространственно-временной изменчивости полей параметров, определяющих качество воды в водных объектах. Среди многочисленных процессов, определяющих поведение озерных экосистем, первостепенную значимость имеют режим растворенного кислорода и внутренняя биогенная нагрузка. Оба находятся под сильным влиянием физических процессов, в первую очередь, температурного режима, условий перемешивания и динамики ледового покрова [1, 5]. Поскольку последние определяются атмосферным воздействием, то они зависят от вариаций в региональном климате. Несмотря на большое количество выявленных взаимодействий между физическими и химико-биологическими процессами в озерах, до сих пор существует недостаточное понимание того, каким образом озерные экосистемы реагируют на изменения температуры воды и условий

перемешивания, которые, в свою очередь, вызываются изменениями в атмосферном воздействии. Цель исследования – численное моделирование отклика термического режима небольших бореальных озер на возможные изменения в региональном климате.

Материалы и методы исследования

Для проведения численных экспериментов использовалась одномерная параметризованная математическая модель FLake (<http://nwpi.krc.karelia.ru/flake>; <http://lakemodel.net>) [9]. Расчеты выполнялись с суточным шагом по времени с выходом на периодическое решение. Для оценки реакции малого бореального озера на возможные изменения в атмосферном воздействии были рассмотрены следующие модельные сценарии:

- 1) «среднепогодный» год со средним ветром;
- 2) «среднепогодный» год с «сильным» ветром;
- 3) «теплый» год со средним ветром;
- 4) «теплый» год с «сильным» ветром.

В качестве модельных объектов рассматривались озера со средней глубиной 5, 10 и 15 м, с двумя вариантами прозрачности воды (1 и 3 м по диску Секки). Всего, таким образом, было проанализировано 24 варианта.

В качестве предполагаемого района исследований был выбран юг Карелии, на территории ко-

торой широко распространены мелководные озера водно-ледникового происхождения [4]. Для анализа изменчивости климатических условий района исследований использовались данные метеостанций Федеральной службы РФ по гидрометеорологии и мониторингу природной среды «Суоярви» и «Петрозаводск».

Анализ среднемесячных значений метеорологических параметров за период с января 1945 по декабрь 2001 (Суоярви) и декабрь 2006 гг. (Петрозаводск) позволил получить их среднегодовое значение для каждого месяца и средние значения для всего года. По среднесуточным значениям температуры воздуха в приземном слое ГМС «Петрозаводск» за период с января 1962 по декабрь 1978 гг. были рассчитаны средние значения и стандартные отклонения для каждого месяца года. Затем каждый месяц года за период с января 1962 по декабрь 1978 гг. был охарактеризован как теплый или холодный относительно среднегодового значения. Наиболее близким к среднегодовому году оказался 1964 г., когда среднегодовая температура была выше среднегодового значения на 0,1 °С, а годовая сумма отклонений от среднегодового значения составила + 0,6 °С. Близкими к среднегодовому году были также 1973 и 1977 гг., (среднее за год отклонение – 0,2 и – 0,3 °С, годовая сумма отклонений от среднегодового значения – 1,9 и – 3,4 °С). Девять месяцев 1974 и 1975 гг. были теплее соответствующих месяцев среднегодового года, среднегодовая температура была выше среднегодового значения на 1,5 °С, годовая сумма отклонений каждого месяца от соответствующего месяца среднегодового года составила + 18,5 и + 17,5 °С, соответственно. Выделенные годы использовались для моделирования различных сценариев атмосферного воздействия.

Среднемесячные значения рассматриваемых параметров (температура и влажность воздуха, скорость ветра и средняя облачность) были «развернуты» в наборы их среднесуточных значений, по статистической модели, предложенной в работе [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Для упрощения анализа, расчетные данные были нормированы на соответствующие значения, полученные для «среднегодового» года со «средним» ветром.

Средняя глубина 5 м. В случае прозрачности воды 1 м основные изменения – снижение до 50% – средней температуры воды для всех случаев атмосферных воздействий отмечались в подледный период (рисунок, А). Придонная температура существенно уменьшилась – на 40–60% – в случае «теплого» года с сильным ветром на протяжении всего года (рисунок, Б). При прозрачности 3 м, изменения средней температуры воды носили практически такой же характер (рисунок, В), а придонная температура менялась в основном в подледный период (уменьшение до 30–40%) (рисунок, Г).

Средняя глубина 10 м. В случае прозрачности воды 1 м, основное влияние

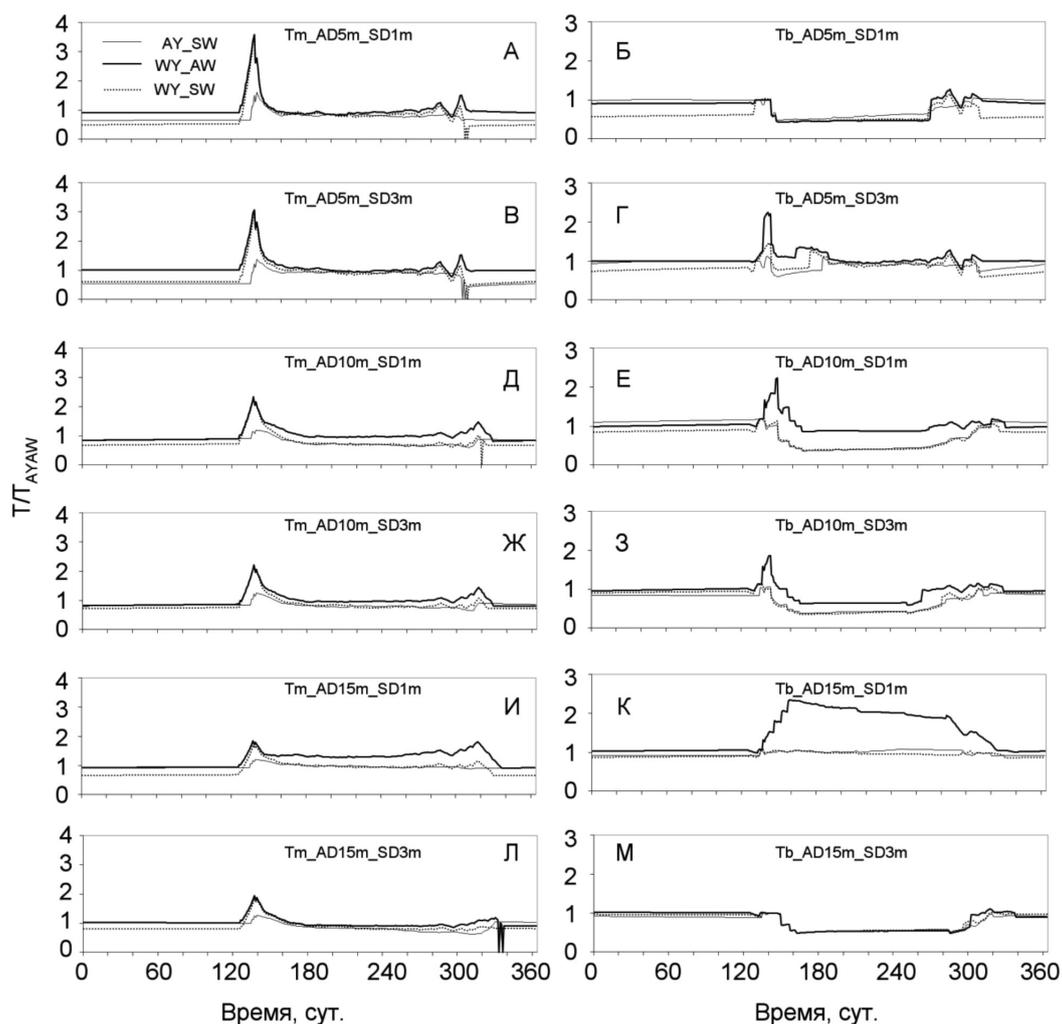
на среднюю (рисунок Д – уменьшение до 30%) и придонную температуру воды (рисунок, Е – уменьшение до 50%) оказал сильный ветер. При прозрачности 3 м средняя температура воды уменьшилась на 20–25% в подледный период в случае «теплого» года с сильным ветром и увеличилась на 20% в период открытой воды (рисунок, Ж).

Средняя глубина 15 м. При прозрачности воды 1 м в случае сильного ветра средняя температура воды понижается в подледный период на 30% и повышается до 50% в период открытой воды в условиях «теплого» года (рисунок, И). Придонная температура в «теплый» год в период открытой воды повышается в два и более раза (рисунок, К). При прозрачности 3 м средняя температура воды понижается на 20% в случае «теплого» года с сильным ветром (рисунок, Л). Придонная температура наибольшие изменения – снижение до 50% – претерпевает во всех случаях атмосферной нагрузки в период открытой воды (рисунок, М).

Для анализа влияния прозрачности воды на динамику термической структуры озер, результаты расчетов для прозрачности 1 м были нормированы на соответствующие значения для прозрачности 3 м.

Средняя глубина 5 м. Для подобных озер изменения при уменьшении прозрачности носят драматический характер. Практически сразу после начала летнего прогрева в них формируется значительный перепад плотности между поверхностными и придонными слоями воды («термоклин»), который постоянно существует до начала осеннего охлаждения. Изменчивость температуры перемешанного слоя повышается, придонная температура в середине лета уменьшается практически вдвое, средняя по столбу становится ниже (в пределах 20%).

Средняя глубина 10 м. Для этого класса озер изменения при уменьшении прозрачности не столь существенны. Озеро остается стратифицированным, но период существования стратификации сокращается приблизительно на месяц. Изменчивость температуры перемешанного слоя повышается, средняя по столбу температура воды остается почти без изменений, придонная температура, начиная приблизительно со 150-х суток, резко возрастает (более чем в два с половиной раза) и остается высокой до сентября, когда озеро перемешивается от поверхности до дна (т.н. период осенней гомотермии).



Изменчивость средней и придонной температуры воды по отношению к таковым для «среднегодового» со «средним» ветром года в озере со средней глубиной 5, 10 и 15 м и прозрачностью по диску Секки 1 и 3 м. Приняты следующие обозначения: AD5m, AD10m, AD15m – средняя глубина озера 5, 10 и 15 м соответственно; SD1m и SD3m – прозрачность 1 и 3 м соответственно; AY – «среднегодовой» год, WY – «теплый» год, AW – «средний» ветер, SW – «сильный» ветер, Tm – средняя температура, Tb – придонная температура

Средняя глубина 15 м. В этом случае озера также остаются стратифицированными с более высокой изменчивостью временной динамики температуры перемешанного слоя. Стратификация формируется раньше и существует почти до конца сентября – на 10 дней дольше. Основные изменения средней и придонной температуры воды отмечаются с момента начала летнего прогрева. Придонная температура уже в середине июня уменьшается практически вдвое, сохраняя низкие значения до октября. Средняя температура уменьшается не столь сильно (наибольшие различия – до 15% – отмечаются в октябре).

Эксперименты на численных моделях [7, 8] показали, что при изменении климата реакция озерных экосистем будет во многом зависеть от геометрии озерной котловины и трофического уровня водоема. Так, например, при потеплении длительность биологического лета возрастет, что приведет к дополнительному росту первичной продукции, увеличению новообразованного органического вещества и, следовательно, увеличению продолжительности существования дефицита растворенного кислорода в придонной области в период открытой воды. Экстремальная жара, наблюдавшаяся летом 2010 г. в Европе, созда-

ла условия для уникального «природного» эксперимента, позволившего проследить за реакцией озер на изменения климата. Резкая термическая стратификация водной толщи небольших бореальных озер явилась причиной серьезных изменений в их кислородном режиме, вплоть до развития аноксии в придонных слоях [2, 3].

Выводы

Серия численных экспериментов, проведенных для модельного озера с разной глубиной и прозрачностью воды, позволила оценить влияние возможных изменений атмосферных воздействий на его термический режим. Наиболее серьезные изменения могут произойти в мелких озерах со средней глубиной порядка пяти метров в случае понижения прозрачности воды. При прозрачности три метра (по диску Секки), эти озера стратифицированы только в начале лета, и уже с июля могут быть полностью перемешанными вплоть до появления льда. Если прозрачность понизится до одного метра, термоклин формируется в самом начале лета и существует до сентября. Поскольку весенняя вспышка развития фитопланктона озер умеренной зоны определяется преимущественно диатомовыми водорослями [10], новообразованное органическое вещество будет захоронено в придонных слоях, где подвергнется бактериальному разложению, что приведет к существенному понижению содержания растворенного кислорода вплоть до формирования анаэробных зон. При наличии термоклина, полного перемешивания и соответственно ре-аэрации придонных слоев воды не будет до появления гомотермии, т.е. в течение как минимум ста суток.

Для того чтобы оценить воздействие возможных изменений регионального климата на разнотипные озера умеренного по-

яса, необходимы дальнейшие исследования баз натурных данных и математических моделей, позволяющих воспроизводить сезонную динамику как термической структуры и условий перемешивания, так и растворенного кислорода и продукционных характеристик.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты 13-05-00338_a, 14-05-91761_АФ_a, 14-05-00787_a).

Список литературы

1. Бреховских В.Ф. Гидрофизические факторы формирования кислородного режима водоемов. – М.: Наука, 1988. – 166 с.
2. Бюллетень экологического состояния озер Нарочь, Мясстро, Баторино (2010 год). – Минск: БГУ, 2011. – 99 с.
3. Ефремова Т.В., Пальшин Н.И., Здоровеннова Г.Э., Терзhevik А.Ю. Влияние экстремально жаркого лета 2010 г. на температуру воды и распределение кислорода в озерах Карелии // *Метеорология и гидрология*. – 2015. – № 9. – С. 67–76.
4. Озера Карелии. – Справочник под ред. Филатова Н.Н., Кухарева В.И. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. – 302 с.
5. Пальшин Н.И. Термические и гидродинамические процессы в озерах в период ледостава. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1999. – 86 с.
6. Терзhevik А.Ю. Простейшая имитационная модель погодных условий над Ладожским озером // *Ладожское озеро – критерии состояния экосистемы*. – СПб.: Наука, 1992. – С. 41–47.
7. Blenckner T., Omstedt A., Rummukainen M. Swedish case study of contemporary and possible future consequences of climate change on lake function // *Aquatic Sciences – Research Across Boundaries*. – 2002. – V. 64. – P. 171–184.
8. Golosov S., Terzhevik A., Zverev I., Kirillin G., Engelhardt C. Climate change impact on thermal and oxygen regime of shallow lakes. // *Tellus A*. – 2012. – 64. – 17264. – DOI: 10.3402/tellusa.v64i0.17264.
9. Mironov D., Heise E., Kourzeneva E., Ritter B., Schneider N., Terzhevik A. Implementation of the lake parameterisation scheme FLake into the numerical weather prediction model COSMO. // *Boreal Environment Research*. – 2010. – 15. – P. 218–230.
10. Vehmaa A., Salonen K. Development of phytoplankton in Lake Pääjärvi (Finland) during under-ice convective mixing period // *Aquatic Ecology*. – 2009. – 43. – P. 693–705. – DOI 10.1007/s10452-009-9273-4.

УДК 621.383 + 621.548 + 662.63 + 631.95

ОСНОВЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В РАЗВИТИИ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ТУРКМЕНИСТАНЕ

Пенджи́ев А.М., Пенджи́ева Д.А.

*Туркменский государственный архитектурно-строительный институт, Ашхабад,
e-mail: ampenjiev@rambler.ru*

В статье рассматриваются геоинформационные системы (ГИС) и создание геоинформационных технологий (ГИТ), которые позволяют оперативно и подробно анализировать на основе имеющейся географически привязанной информации различные альтернативные варианты для проведения оценки последствий вариантов проектирования установок в той или иной области теплоэнергетики с целями обеспечения устойчивого развития региона. В большей степени это относится к энергетическим объектам и системам, использующим термоэнергетические источники в связи с их высокой пространственной и временной неравномерностью и изменчивостью. В соответствии со стоящими задачами, определяющими необходимые расчетные параметры, встают требования к исходной физико-географической, природно-климатической, метеорологической, геотермальных ресурсов и информации потенциала, необходимой для создания базы данных ГИС. Оценки геотермальных энергоресурсов и его распределения по территории затруднены ограниченностью объема теплотенциала по времени и в пространстве. С помощью ГИС можно решить энергетические, экономические, экологические, социальные вопросы и возможности смягчения изменения климата на основе теплоэнергетических установок и их ресурсы, выгоды, цели и задачи на научно-методических основах в области теплоэнергетики для реализации государственных программ Туркменистана энергообеспечения региона. На основе ГИС рассчитана и составлена карта геотермальных ресурсов Туркменистана.

Ключевые слова: геоинформационная система, возобновляемая энергетика, геотермальные ресурсы, потенциал тепловой энергии, математическая модель определения потенциалов, тепличное хозяйство, Туркменистан

BASES OF GEOINFORMATION SYSTEM IN DEVELOPMENT OF GEOTHERMAL POWER IN TURKMENISTAN

Penjiyev A.M., Penjiyeva D.A.

Turkmen State Institute of Architecture and Construction, Ashabad, e-mail: ampenjiev@rambler.ru

In article it is considered geoinformation systems (GIS) and creation geoinformation (геоинформационных) technologies (GIT) which allow operatively and to analyze in detail on the basis of the available geographically adhered information various alternative variants for carrying out of an estimation of consequences of variants of designing of installations in this or that area of power system c the purposes of maintenance of a sustainable development of region. In special degree it concerns power objects and the systems, using the thermal power sources (термоэнергетические источники) in connection with their high spatial both time non-uniformity and variability. According to the standing problems defining necessary settlement parameters, also there are requirements to initial fiziko-geographical, prirodno-climatic, metrological, geothermal resources and the information of potential necessary for creation of database GIS. Estimations of geothermal power resources and its distribution on territory it is complicated by limitation of volume warmly potential on time and in space. By means of GIS it is possible to solve power, economic, ecological, social questions and possibilities of softening of change of a climate on the basis of heat power installations, and their resources, benefits, the purposes and problems on scientifically-methodical bases in the field of power system for realisation of government programs of Turkmenistan of power supply of region. On the basis of GIS the card of geothermal resources of Turkmenistan is calculated and made.

Keywords: geoinformation the system, renewed power, geothermal resources, thermal energy potential, mathematical model of definition of potentials, a hothouse economy, Turkmenistan

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов представляет собой одну из глобальных мировых проблем, успешное решение которой будет иметь определяющее значение не только для дальнейшего развития мирового сообщества, но и для сохранения среды его обитания в биосфере Земли. Одним из перспективных путей решения этой проблемы является применение новых энергосберегающих технологий, использующих нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Несмотря на то что современная энергетика в основном базируется на невозобновляемых источниках энергии (около 80% в ми-

ровом энергетическом балансе составляют нефть, газ и каменный уголь), интерес к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) неуклонно растет. Главными аргументами для использования ВИЭ являются высокая цена традиционного топлива, энергетическая безопасность для стран-импортеров нефти и газа и проблемы охраны окружающей среды.

Выступая на выездном заседании Кабинета Министров 12.06.2009 г., Президент Туркменистана Гурбангулы Бердымухамедов поставил задачу перед учеными о развитии возобновляемых источников энергии, в частности, солнечной, ветровой,

геотермальной энергии, получения биогаза и внедрение экологически чистых и энергоберегающих технологий [1].

Геотермальные ресурсы занимают одно из первых мест по своему суммарному теплоэнергетическому потенциалу и концентрации в пределах перспективных регионов. Вместе с тем достоверная оценка объемов вовлечения геотермальных ресурсов в топливно-энергетический баланс представляет собой достаточно сложную научно-техническую проблему. Ее решение сопряжено с необходимостью учета комплекса природных (геологических, гидрогеологических, геотермических и др.), технических, технологических, экологических и, наконец, экономических условий, параметров и показателей. Тем не менее, к настоящему времени накоплен определенный отечественный и зарубежный опыт, позволяющий достаточно обоснованно подойти к оценке земных ресурсов геотермальной энергии, возможных и экономически целесообразных объемов их использования в нефтегазовой отрасли, сельском хозяйстве в ряде регионов Туркменистана и других отраслях [3, 4, 7, 8–12].

В научной статье приведены и рассмотрены: геоинформационные системы – электронная картография; краткий обзор средств разработки ГИС-технологии; мировой опыт использования ГИС-технологии; концепция построения системы трехмерного геоинформационного моделирования; ГИС-геотермальные ресурсы Туркменистана; методы оценки ресурсов и запасов геотермальной энергии; прогнозные ресурсы термальных вод и гидрогеотермальной энергии Туркменистана; технико-экономическая оценка ГИС-технологии геотермального теплоснабжения в Туркменистане; ожидаемые результаты для теплоснабжения тепличных хозяйств в Туркменистане.

Целью и задачей статьи является создание основ разработки геоинформационной системы, технологий на основе ВИЭ и обеспечение информационного, программного геоинформационного моделирования для решения ряда задач по оценке пространственного распределения земных возобновляемых энергоресурсов, в частности, распределения геотермальных энергетических ресурсов на территории Туркменистана.

Научная новизна. Предложены принципы построения новой ГИС-технологии, и создан основы для решения задач комплексной оценки возобновляемых энергоресурсов потенциала Туркменистана,

которая имеет территориальную привязку. Впервые с применением геоинформационных технологий построена энергетическая карта потенциала и технически рассчитана доступность геотермальным энергетическим ресурсам для энергоснабжения и для реализации государственных программ развития тепличных хозяйств в Туркменистане на основе возобновляемых источников энергетики.

Основы по геотермальной энергетике в рамках разработки ГИС

Информационный обзор работ по ГИС. Геоинформационные системы (ГИС) являются классом информационных систем, имеющим свои особенности с учетом закономерностей геофизики, геоинформатики и методов. Геоинформационные технологии предназначены для повышения эффективности процессов управления, хранения и представления информации, обработки и поддержки принятия решений [5, 6, 22].

Полное, на высокопрофессиональном научном уровне изложение всех основ создания и использования ГИС дано по геодезической и математической основе в работе [4]; по вопросам создания базовых карт и цифровых моделей, решения на их основе разнообразных задач и выполнения исследования по картам в работах [3–5, 7–13] по вопросам места ГИС среди технических систем, системного анализа, организации данных в ГИС, применения баз данных в ГИС в работах [3–6]; по вопросам многоаспектного применения ГИС, по инструментальным системам, элементам топологии данных в ГИС, качества информации, цифрового моделирования в работах [6, 7]; по вопросам интеграции данных ГИС и систем обработки данных дистанционного зондирования в работах [5, 6, 22]; по вопросам стандартизации и тестирования в работах [5–12] по вопросам защиты информации в ГИС в работах [6, 8–12, 15, 16]. ГИС имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при изучении этих систем.

Основными внутренними данными ГИС являются базовые цифровые геофизические карты и цифровые модели, теоретической основой, которых являются положения и методы создания и использования их геодезической и математической основы, все элементы которых построены в единой геодезической системе координат, проекции, размерности и системе мер. При создании и использовании карт, являющихся базой построения данных ГИС, рассматри-

вают и используют геодезическую систему координат и плоские прямоугольные координаты картографических проекций исходных материалов, геодезические координаты и проекции создаваемых базовых карт, на основе которых осуществляется построение цифровых моделей в ГИС и практически реализуются все задачи ГИС. Все основные положения создания и использования геотермальных вод и составление электронных карт ГИС кратко даны в статьях [5, 6, 22].

Решаемые задачи. ГИС общего назначения обычно выполняет несколько задач: ввод данных; манипулирование и управление ими; информационный запрос и его анализ; визуализация данных.

Краткий обзор средств разработки ГИС-технологии. Универсальное и наиболее распространенное средство для создания ГИС ARC/INFO- Arcview служат для обеспечения компьютерного картографирования и оперативного принятия решений [4–6].

Полнофункциональная оболочка географических информационных систем среднего класса ATLAS GIS содержит все обычные средства ввода, редактирования в печати, рисования карт, развитые презентационные средства (полное управление цветами и штриховками, создание и редактирование символов, многочисленные вставки, тематическое картографирование, бизнес-графику) [4–6, 15].

При разработке ГИС-приложений среда разработки MapInfo Professional обеспечивает доступ к базам данных Oracle8i, хранилищам данных на сервере и управление ими, создание тематических карт, создание и запись SQL-запросов. Кроме того, эта среда разработки поддерживает растровые форматы, включая BMP, JPG, TIFF, MrSID, имеет универсальный преобразователь для форматов AutoDesk, ESRI и Intergraph. Начиная с версии 6, обеспечивается поддержка Интернета и трехмерных изображений, а также усовершенствованы средства геокодирования информации [4–6, 15, 16].

Еще одна популярная среда разработки AutoCAD Map обладает всеми инструментами программы AutoCAD 2000, а также специализированными возможностями для создания, отслеживания и производства карт и географических данных. Существует целый комплекс ГИС-систем с программным обеспечением: ГИС ИнГЕО – система, Система TopoL, MapXtreme и многие другие [5–16, 22].

Недостатком существующих продуктов компании, является наличие постоянно обновляемой базы данных, увеличение емкости памяти, профессионализм специалиста, а также возможность пополнения ее собственными данными пользователя; инструменты анализа данных для получения на их основе новой «производной» информации, представление результатов в виде диаграмм, графиков, карт и других визуальных объектов. Однако отсутствие информации о методиках проведения расчетов, а также оценок точности прогноза является весьма критичным, и недостаточно конкретных результатов по использованию ВИЭ установок, так как каждая возобновляемая энергетическая установка имеет свою особенность, назначение, применение и энергетические ресурсы.

Наглядным примером для дальнейшего использования и развития ГИС-технологии в геотермальной энергетике является опыт Российских ученых по картографированию на основе ГИС-технологий пространственного распределения плотности геотермальных ресурсов в Дагестане [6]. При решении рассматривали следующие крупные задачи и разработали: основу построения специализированной системы трехмерного геоинформационного моделирования (СТГМ); систему организации данных в СТГМ; функциональные модули и модули визуализации данных в СТГМ, составили алгоритмическое и программное обеспечение СТГМ, необходимо обеспечить пространственное распределение плотности геотермальных ресурсов Туркменистана. Принцип нового построения программно-алгоритмической реализуется специализированной системой трехмерного геоинформационного моделирования [6].

Общая ГИС-характеристика рельефа и геотермальные ресурсы Туркменистана

Рельеф обширной территории Туркменистана разнообразен. Образование основных форм рельефа, прежде всего, связано с историей геологического развития данной местности. Формы рельефа в дальнейшем были осложнены влиянием физико-географических факторов.

По характеру рельефа Туркменистан делится на две неравные части. Примерно 80 процентов его территории составляет равнина, а 20 процентов – горы и возвышенности.

По литологическому составу и разнообразию ландшафтов пустыни разделяются на песчаные, песчано-галечниковые, щебнисто-гипсированные, каменистые, лёссовидные, глинисто-такырные и солончаковые пустыни. Для каждой из них характерен собственный почвенный и растительный покров [2, 12–14]. Изучив ГИС-строение рельефа, геологическое отложение, тектонические характеристики и природные ресурсы Туркменистана, немаловажный интерес вызывают возможности использования геотермальных вод, как тепловой источник энергий страны.

Особенности геотермальной энергии в Туркменистане. Классификация гидрогеотермальных ресурсов, которые представляют собой подземные воды в различном фазовом состоянии (горячая вода, пар и вода, пар), четко увязывается со сложившимися в гидрогеологии классификациями ресурсов и запасов подземных вод [4, 8–18].

При эксплуатации термальных вод по традиционной технологии из недр извлекается: при фонтанной эксплуатации – $(2-10) \cdot 10^{-2}\%$, при насосной – $(7-56) \cdot 10^{-2}\%$ запасов термальных вод. При геоциркуляционной технологии этот показатель достигает 20–30%, т. е. на много порядков выше. Коэффициенты извлечения тепла из недр составляют $(3-17) \cdot 10^{-3}\%$ при фонтанной эксплуатации, $(1-8) \cdot 10^{-2}\%$ – при насосной, увеличиваясь до 5–13% при применении геоциркуляционной технологии. Соответственно во много раз возрастают и прогнозные ресурсы термальных вод.

Следует также иметь в виду, что при применении традиционной технологии, в отличие от геоциркуляционной, задача экологически безопасного сброса «отработанного» теплоносителя должна решаться специально.

В целом, анализ опубликованных в отечественной и зарубежной литературе классификаций геотермальных ресурсов позволяет осуществить их сопоставление с Концепцией развития возобновляемой энергетики в Туркменистане [8–20], видами потенциала ВИЭ. Большой вклад внесли в изучение геотермальных ресурсов в Туркменистане ученые В.Ф. Борзасеков, А.В. Кудельский, Ф.А. Макаренко, В.И. Кононов, В.В. Колодий, Э.И. Богуславский, Т. Аширов, Я.А. Ходжакулиев, Х. Бабаев, С. Шабердыев и многие др. [4–9].

Оценка геотермальных ресурсов Туркменистана. Практическое значение геотермальных вод, определяется их прогноз-

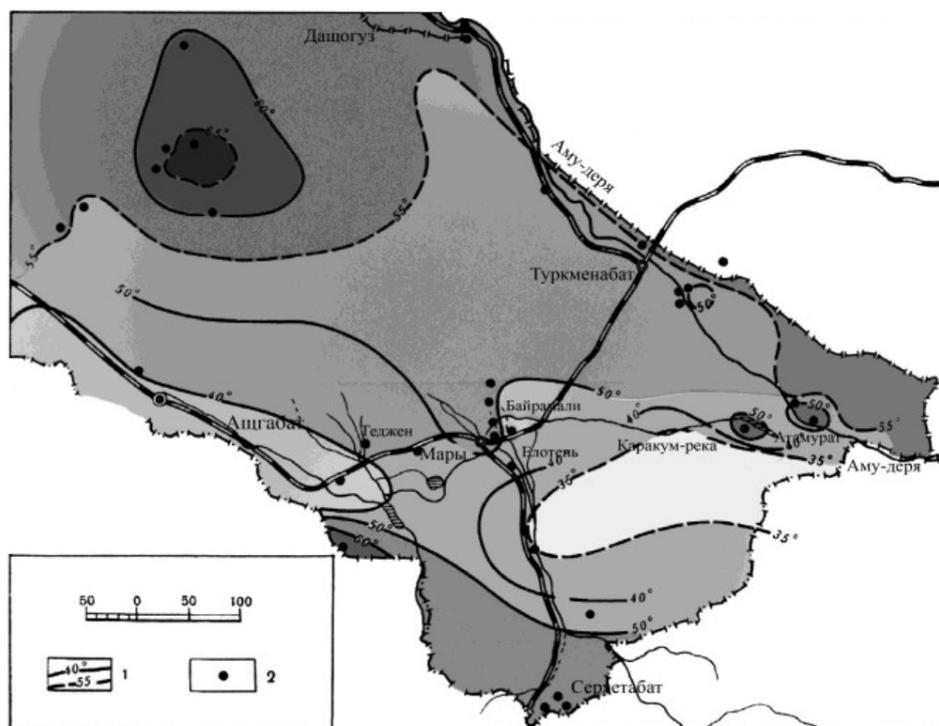
ными запасами и количеством в водах полезного тепла.

Оценка прогнозных запасов проводилась по общеизвестным формулам. При этом расчётный срок эксплуатации принимается равным 10^4 суткам (27 лет). Понижение к концу расчётного срока эксплуатации принимается равным 100 м от поверхности земли. Коэффициент пьезопроводности при отсутствии специальных его определений принимается равным $1 \cdot 10^{-3}$ м³ сутки.

Поисково-разведочным бурением на нефть и газ, минеральные и промышленные воды в ряде районов Туркменистана были вскрыты термальные воды, отвечающие вышеперечисленным общим кондиционным методикам и требованиям, на основании результатов построена схематическая геотермическая карта по глубине 1000 м Центрального и Восточного Туркменистана на рисунке приведены и оценены геотермальные ресурсы.

На территории *Ахалского ваялята* (области) термоминеральные воды обнаружены в Передовой зоне Копетдага: Берзенги, Бахарлы, Арчабил, Геокдепе, Арчман. В пределах Берзенгинской антиклинали с глубин до 1600 м из карбонатных отложений верхней юры и неокома получены воды с температурой 33–41 °С на излив. Производительность скважин достигала 13–30 л/сек при избыточных давлениях от 0,4 до 1,0 МПа. Состав воды сульфатный кальциево-магниевый-натриевый с минерализацией 2,9–3,9 г/л и концентрацией сероводорода 3–8 мг/л. Подсчитанные по промышленным категориям запасы термальных вод составляют 412,2 м³/сутки. Скважины глубиной до 2000 м могут вывести воды с температурой 50–60 °С на излив.

Бахарлыньское месторождение термальных вод характеризуется самоизливающимися с глубин 1000–2000 м водами с температурой на устье скважины 35–49 °С и дебитами – 5–50 л/сек. Химический состав вод – хлоридно-сульфатный кальциево-натриевый с минерализацией до 4 г/л и концентрацией сероводорода до 55 мг/л. Бурением скважин глубиной до 3000 м можно вскрыть термальные воды с температурой на устье до 70–80 °С, которые найдут широкое применение и в теплоснабжении. По Копетдагской складчатой гидрогеологической области суммарная теплоэнергетическая производительность составляет 205627 Гкал/год или 29484 т у.т./год; с дебитом 18513 м³/сут.



Схематическая геотермическая карта по глубине 1000 м Центрального и Восточного Туркменистана

В Балканском велаяте термальные воды, отвечающие кондиционным требованиям, вскрыты скважинами в пределах территории Западного Копетдага (Терсакан, Каракала), Большого Балхана (Карачагыл) и Западно-Туркменской низменности.

На структуре Терсакан на глубинах 280–400 м вскрыты самоизливающиеся термальные воды, с температурой на устье 37–52 °С. Расход скважин на самоизливе 10–55 л/сек, с избыточными напорами до 0,5–0,6 мПа. По составу воды хлоридные натриевые, бессероводородные, с минерализацией 9–10 г/л. Вблизи пос. Каракала (ущ. Порхай) с глубины 192 м выведены сероводородные воды с минерализацией 1–1,2 г/л и температурой на изливе 31 °С. Эти территории имеют перспективы вскрытия на доступных бурению глубинах (1500–2000 м) термальных вод с температурой на устье до 70–80 °С.

В пределах Большебалханской антиклинали (Карачагыл) из среднеюрских отложений с глубины 700 м выведены самоизливающиеся воды с дебитом скважины 5,0–7,3 л/сек, с температурой на устье до 45–46 °С и минерализацией 11–13 г/л.

Всего по Западно-Туркменскому гидрогеологическому бассейну прогнозируемые

ресурсы подземных термальных вод составляют 13 644 667 Гкал/год или 7 752 044 т т.у./год; с дебитом 957207 м³/сут.

В Марыйском велаяте термальные воды, отвечающие общим кондициям, вскрыты только в сезон – палеоценовом водоносном комплексе на структурах Мургабской впадины и Кушкинской группы поднятий. Это низкопотенциальные воды с температурой на устье скважин 40–50 °С, имеющих дебиты 140–824 м³/сутки и минерализацию до 10–15 г/л. Статические уровни вскрытых водоносных горизонтов устанавливаются на отметках 60–100 м от устья скважин. По наиболее рентабельному Карабильскому участку подсчитанные прогнозные эксплуатационные запасы составляют дебит 14,0 тысяч м³/сутки, а тепловые ресурсы 46121,4 Гкал/год или 6588,7 т у.т.

В Лебапском велаяте низкопотенциальные термальные воды вскрыты на многих разведочных площадях в палеоценовых и верхнемеловых отложениях. Температура на устье самоизливающихся скважин достигала 35–53 °С, минерализация вод преимущественно составляет 10–35 г/л, а дебиты скважин варьируются в основном от 8 до 170 м³/сутки, в некоторых скважинах достигая 1520 м³/сутки.

Таблица 1

Экологический потенциал геотермальных ресурсов по изученным районам Туркменистана

Наименование областей	Ресурсы теплопроизводительности, т у.т.	SO ₂ (т/год)	NO _x (т/год)	CO (т/год)	CH ₄ (т/год)	CO ₂ (т/год)	Твердые вещества
Ахалский	29484	612,82	329,98	42,85	89,99	47140,12	64,28
Балканский	7752044	161125,33	86759,79	11267,50	23661,76	12394256,4	16901,26
Марыйский	6588,7	136,94	73,73	9,57	20,11	10534,26	10534,26
Лебапский	42705	887,62	477,95	62,07	130,35	68278,34	93,11
Всего по Туркменистану	2500000	51962,21	27979,65	3633,72	7630,81	3997093,02	5450,58

С учётом кондиционных требований в пределах Лебапского велаята можно выделить участки низкопотенциальных термальных вод, наиболее перспективных для использования гидротермального тепла: Питнякский, Ачакский, Кирпичлинский, где прогнозируемые ресурсы подземных термальных вод составляют: 298935 Гкал/год или 42705,0 т у.т./год; с дебитом 120317,1 м³/сут.

В итоге анализ по изученности термальных вод в Туркменистане показывает, что суммарная теплоэнергетическая производительность составляет: 17,5 млн Гкал/год или 2,5 млн. т у.т./год; с дебитом 1,3 млн м³/сут.

Технико-экономическая оценка геотермального теплоснабжения. Величина экономического распределяемого эффекта от осуществления геотермального теплоснабжения в ряде отраслей колеблется от 0,7 до 0,5. При использовании геотермальной энергии в зависимости от технико-экономических показателей термоводозабора, величина меняется в пределах от 0,8 до 0,4. Расчет потребляемого теплового потенциала определяется по формуле

$$A = 1 - 0,8 \frac{t_{\text{вх}} - t_{\text{об}}}{t_{\text{вх}}}$$

В целом Туркменистан обладает огромными ресурсами термальных рассолов с температурами до 100 °С и залегающими на глубинах (до 5000 м), доступных при современной технологии бурения скважин и в будущем могут стать рентабельными.

Экологический потенциал геотермальной энергии характеризует сумму экономических потенциалов тепловой производительностью энергии [6–16, 18].

Ожидаемое сокращение выбросов различных вредных веществ в окружающую среду по изученным регионам в Туркменистане при использовании геотермальной энергии с теплопроизводительностью 17,5 млн Гкал/год при годовой выработке составит: экономия расхода топлива соста-

вит 2,5 млн т т.у. /год, сокращение выбросов: диоксида серы SO₂ – 51962,21; оксида азота NO_x – 27979,65; оксида углерода CO – 3633,72; метана CH₄ – 7630,81; твердых веществ – 5450,58; двуокиси углерода CO₂ – 3997093,02 т/год [11–18].

Экологический потенциал от производительности тепловой энергии по областям Туркменистана приведен в табл. 1.

Возможности использования ГИС-технологий геотермальных вод для теплоснабжения теплиц Туркменистана. Продовольственной программой Туркменистана предусматривается значительное увеличение производства продуктов овощеводства. Для нормального обеспечения овощами населения по расчетам специалистов необходимо не менее 2 м площади на человека. Важную роль при решении Продовольственной программы играют разработка и создание сооружений, обеспечивающих производство овощей при минимальных затратах. В настоящее время энергоёмкость выращиваемых овощей в теплицах даже в Средней Азии очень велика. Более 50% всех эксплуатационных затрат приходится на их обогрев. На производство 1 кг овощей в теплицах затрачивается 10–13 кг у.т. Поэтому разработка дешевых пленочных теплиц, использующих энергию солнечных лучей и тепло термальных вод с целью экономии затрат на обогрев теплицы органическим топливом, является актуальной.

ГИС экономического эффекта. Для расчета экономического эффекта использования ГИС-технологий геотермальных вод при отоплении теплиц необходимо учитывать, что капитальные вложения возрастают в результате бурения скважин, строительства сборных и водоподающих сетей. Средняя стоимость скважины в 1984 году была 126 тыс. долл. США, а для обеспечения теплом комбината площадью 18 га необходимы 3–4 скважины, причем располагают их для получения мак-

симального дебита на некотором расстоянии друг от друга. Следовательно, возрастает стоимость оборудования «куста» скважин, становится очевидной ошибка при оценке термальных вод как «дарового» тепла. Растут затраты на отопление теплиц при понижении температуры воды, например, при 55–60°C стоимость типовой системы отопления увеличивается на 47%. Повышает общие капитальные затраты также строительство сбросных и очистных сооружений [8–14].

Ожидаемые результаты для теплоснабжения тепличных хозяйств в Туркменистане. В настоящее время у нас в стране рентабельными для эксплуатации считаются месторождения термальных вод со следующими основными параметрами [3]: температура вод – не менее 35–40°C; глубина залегания водоносных горизонтов – не более 3000 м; расходы скважин – не менее 5 л/с (430 м³/сут); минерализация вод – не более 35 г/л; водопроницаемость пород водоносного комплекса – не менее 10–20 м²/сут. [8–14].

Перспектива использования гидротермальных ресурсов для отопления теплиц траншейного типа по расчетам на основе математической модели оцененными регионами характеризуется следующими цифрами для Атамыратской площади Лебапского велаята: самоизливаются с дебетами 0,7–80 м³/сутки, иногда 150 м³/сутки. Температура на устье 20–45°C. Воды отличаются высокой минерализацией (100–540 г/л) и в основном хлоридным натриевым и кальциево-натриевым составом. Из солевых отложений гаурдакской свиты получен мощный фонтан высокотермального (95°C на устье) хлоридного магниево-кальциевого рассола (540 г/л). Дебит фонтанирующей скважины достигал 1000 м³/сутки. Средняя декадная температу-

ра наружного воздуха равна $t_{нар.} = 3,94^\circ\text{C}$, площадь (труб) поверхность отопительной системы F пл. обогрев., – 31,32173 м², расход топлива на обогрев теплицы $G = 5,956126$ кг/час; тепловая мощность отопительной системы $Q = 18182,27$ ккал/час, Q за сезон – 39273696 ккал/сез., Q за месяц – 13091232 ккал/мес.; расход условного топлива эквивалентно, B по месяцам – 3,9 тыс. т у.т. мес., B за сезон – 11,7 тыс. т у.т. температура геотермальной воды от 20–95°C в зависимости от глубины 500–2000 м результаты по другим изученным областям и районам аналогично приведены в табл. 2 [8–20]. В итоге на производство 1 кг овощей в теплицах затрачивается около 10–13 кг у.т. при этом расходуется органическое топливо, а это в свою очередь загрязняет окружающую среду. Результаты тепловых и электроэнергетических затрат на производство 1 кг овощей и их экологические потенциал загрязнения приведены в табл. 3.

В настоящее время недостаточен опыт эксплуатации тепличных комбинатов промышленного типа с теплоносителем – геотермальными водами в Туркменистане, тем более с использованием ГИС-технологий. Нет научно обоснованных и проверенных в производственных условиях инженерных разработок узлов и оборудования всех звеньев системы теплоснабжения. Применение же известных решений и серийно выпускаемого оборудования в больших масштабах проблематично с технической и экономической точек зрения. Для широкого освоения термальных вод в овощеводстве защищенного грунта нужны комплексные рекомендации, однако уже сейчас, до их разработки, необходимо использовать этот источник тепловой энергии для отопления теплиц.

Таблица 2

Результаты расчета тепловой мощности (Q за час, месяц, сезон), площадь поверхности отопительной системы (F), расход топлива на обогрев теплицы (G) за час

Наименование местности	Q тыс. ккал/час	Q за сезон тыс. ккал/сез.	Q за месяц тыс. ккал/мес.	F пл. обогрев, м ²	G расход, кг/час	B т у.т. мес.	B т у.т. сезон.
1	2	3	4	5	6	7	8
Ахалский велаят							
Берзенги	19,5	42192,0	14064,0	33,6	6,3	4186,5	12559,7
Бахарлы	19,6	42409,3	14136,4	33,8	6,4	4208,1	12624,4
Сарагыт	17,4	37628,2	12542,7	30,0	5,7	3733,7	11201,1
Марыский велаят							
Тахта-базар	18,1	39118,4	13039,4	31,1	5,9	3881,5	11644,7
Лебапский велаят							
Атамырат	18,2	39273,6	13091,2	31,3	5,9	3896,9	11690,9
Фарап	22,7	43992,7	14664,2	35,0	6,6	4365,2	13095,7

Окончание табл. 2							
1	2	3	4	5	6	7	8
Балканский вেলাят							
Магтымгулы	18,1	36169,0	12056,3	28,8	5,4	3588,9	10766,7
Дашогузский вেলাят							
Дашогуз	29,3	56442,3	18814,1	45,0	8,2	5600,5	16801,7

Таблица 3

Энергетические тепловые затраты на производство 1 кг овощей и экологическое загрязнение

Тепло затраты на 1 кг овощей кг у.т. или эквивалент электроэнергии кВт ч/ сезон	SO 2 (кг/год)	NOx (кг/год)	CO (кг/год)	CH4 (кг/год)	CO2 (кг/год)	Твердые вещества (кг/год)
10 кг у.т. или 25 кВт ч/ сез.	0,208	0,112	0,014	0,030	15,99	0,022
11 кг у.т. или 27,5 кВт ч/ сез.	0,228	0,123	0,016	0,033	17,59	0,024
12 кг у.т. или 30 кВт ч/ сез.	0,249	0,134	0,017	0,036	19,18	0,026
13 кг у.т. или 32,5 кВт ч/ сез.	0,270	0,145	0,019	0,039	20,78	0,028

Заключения

Проведенные ревизионно-тематические исследования с использованием геотермальных вод методами ГИС, технико-экономическими, экологическими обоснованиями и разработанной картой найдет свое применение не только в развитии тепличного хозяйства, но будет рентабельно использовать теплоснабжение в других отраслевых хозяйствах Туркменистана.

Особый интерес представляет использование ГИС-карту в развитии бальнеологии, а технология применения тепловых насосов в холодильных машинах в летнее время используется не только для снижения температуры воздуха в теплице, но и для обеспечения оптимального режима в овощехранилищах и холодильных камерах в течение года.

На основании теоретических и расчетных исследований по использованию геотермальных энергетических установок можно составить проектное предложение для экологического бизнеса по продаже квот в углеродный фонд Всемирного банка.

Список литературы

1. Бердымухамедов Г.М. Государственное регулирование социально-экономического развития Туркменистана. //Том 1. А.: Туркменская государственная издательская служба, 2010.
2. Бобаев А.Г. и др. Физическая география Туркменистана. Учебное пособие А.: Туркменская государственная издательская служба. – 2014. – 350 с.
3. Богусловский Э.И. Техничко-экономическая оценка освоения тепловых ресурсов недр. – Л.: ЛГУ, 1984. – 350 с.
4. Борзасеков В.Ф. Геотермические условия и термальные воды Центральной и Восточной Туркмении // Региональная геотермия и распространение термальных вод в СССР. – М.: Наука, 1967. – С. 207–216.
5. Бугаевский Л.М., Цветков В.Я. Геоинформационные системы. – М.: Златоуст, 2000. – 222 с.
6. Кобзаренко Д.Н. Трехмерное геоинформационное моделирование в прогнозных задачах геотермальной энергетики // Материалы 6-й Всероссийской научной молодежной школы «Возобновляемые источники энергии», 25–27 ноября 2008. Москва. МГУ им. Ломоносова. – С. 139–145.

7. Кудельский А.В. Термальные воды Копетдага. // Изучение и использование глубинного тепла Земли. – М.: Наука, 1973.
8. Пенджиев А.М. Геотермальные воды Туркменистана. // Международный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2007. – № 7. – С. 67–72.
9. Пенджиев А.М. Геотермальные ресурсы Центральной Азии как альтернативный источник тепловой энергии. // Международный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2013. – № 02/02. – С. 73–96.
10. Пенджиев А.М. Математическая модель теплотехнических расчетов микроклимата траншейной солнечной теплицы // Международный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2010. – № 7. – С. 62–70.
11. Пенджиев А.М. Математическое моделирование микроклимата в солнечной теплице траншейного типа // Международный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2010. – № 8. – С. 60–69.
12. Пенджиев А.М. Основы геоинформационной системы в развитии возобновляемой энергетики в Туркменистане // Международный журнал «Альтернативная энергетика и экология» – ISJAE. – 2014. – № 19. В рассмотрений публикации.
13. Пенджиев А.М. Геоинформационная технология использования возвратных вод туркменского озера «Алтын Асыр» // Международный журнал «Альтернативная энергетика и экология» – ISJAE. – 2014. – № 13. – С. 129–150.
14. Пенджиев А.М. Экологические проблемы освоения пустынь. // Монография, Издатель: LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2014. – 226 с. ISBN: 978-3-8433-9325-6.
15. Пенджиев А.М. Изменение климата и возможности уменьшения антропогенных нагрузок // Монография, Издатель: LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2012. – 162 с. ISBN: 978-3-659-20276-6.
16. Пенджиев А.М. Концепция развития возобновляемой энергетики в Туркменистане // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2012. – № 08 (112). – С. 91–102.
17. Пенджиев А.М., Борзасеков В.Ф., Пенжиева Д.А. Геотермальные ресурсы Туркменистана как альтернативный источник тепловой энергии // Международный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2012. – № 08. – С. 43–50.
18. Пенджиев А.М., Борзасеков В.Ф., Пенжиева Д.А. Техничко-экономическая оценка геотермального теплоснабжения в Туркменистане // Международный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2012. – № 05-06. – С. 162–167.
19. Пенджиев А.М., Пенжиева Д.А. Возможности использования геотермальных вод для теплоснабжения теплиц Туркменистана // В кн. «Энергосберегающие технологии в сельском хозяйстве». Материалы международной конференции. – Москва, ВИЭСХ, 2008. – С. 37–45.
20. Пенджиев А.М., Пенжиева Д.А. Ресурсы и эффективность использования энергии геотермальных вод // Монография, Издатель: LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2015. – 226 с. ISBN: 978-3-659-76129-4.
21. Рыбакова Л.Е., Пенжиев А.М. Энергия барада сохбет. – А.: Магарыф, 1993.
22. Стребков Д.С., Пенджиев А.М., Мамедсахатов Б.Д. Развитие солнечной энергетики в Туркменистане. // Монография. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012. – 496 с.