

ВЕСТНИК Российского университета дружбы народов

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1993 г.

Серия
ИНЖЕНЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2015, № 1

Серия издается с 2000 г.

Российский университет дружбы народов

СОДЕРЖАНИЕ

НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО

- Бестужева Н.А., Ромеро Барренечеа Моисес Эсау.** Состояние недропользования северной части Непско-Ботубобинской, Катангской и Сюгджерской нефтегазоносных областей 5
- Клавдиева Н.В., Черных Е.М., Зубкова Е.В.** Информационное обеспечение научно-исследовательских работ по изучению керна нефтегазовых скважин в филиале «Апрелевское отделение ВНИГНИ» 11
- Зубкова Е.В., Жорж Н.В., Мюрсеп А.Г.** Комплексование геофизических и геохимических методов при поисках месторождений углеводородов в юго-западной части Прикаспийской впадины (Астраханская область) 19

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА

- Абрамов В.Ю., Власов П.Н.** О некоторых литолого-стратиграфических и геолого-промышленных характеристиках продуктивных горизонтов Западно-Ленинградской площади Ромашкинского месторождения 27
- Филатова Л.К., Филатов Е.И.** Кремнекислые вулканиты девонской базальт-риолитовой формации Рудного Алтая 37
- Пыжова Е.С., Попова Н.С.** Результаты изотопного (U/Pb) датирования обломочных (детритных) цирконов из песчаников алмазоносной эмской (нижний девон) такатинской свиты Западного Урала 45

Антонио Фермин Кампос Седеньо, Синиченко Е.К., Грицук И.И. Структурный подход к оценке морфометрических характеристик бассейнов рек провинции Манаби (Эквадор)	52
Чамов Н.П., Костылева В.В., Соколов С.Ю., Котельников А.Е. О возможном влиянии газоносных флюидов на состав донных отложений в районе свода Федынского (Баренцево море)	62
ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОГРАММЫ ИНЖЕНЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	
Беляев В.В., Горбунов А.А., Мойсеенко С.В., Муравский Ал.Ан., Муравский Ан.Ал., Попов И.В., Бункина Н.А., Пупков К.А., Соломатин А.С. Автоматизированная система измерений параметров взаимодействия жидких кристаллов с поверхностью ориентирующего слоя жидкокристаллической ячейки	73
Грицук И.И., Дебольский В.К., Масликова О.Я., Пономарёв Н.К., Синиченко Е.К. Экспериментальное исследование влияния солнечной радиации на интенсивность снеготаяния	83
Дивеев А.И., Шмалько Е.Ю. Двухэтапный синтез системы управления методом сетевого оператора	91
Макаров Е.В., Монахов И.А., Нефедова И.В. Двусное растяжение пластины с круговым отверстием	100
Монахов И.А., Басов Ю.К. Аналитическое определение несущей способности балки с одной защемленной и другой шарнирно неподвижной опорами под действием сочетания нагрузок	106
Кузнецов Е.Б., Леонов С.С. Математическое моделирование чистого изгиба балки из разномодульного авиационного материала в условиях ползучести	111
Воробьев А.Е., Кочофа Г.А., Малюков В.П., Лысенкова З.В., Капитонова И.Л., Мартин Зарума Торес, Чекушина Е.В., Ибрагимов Р., Каукенова А.С., Синченко А.В., Нарожный И.М., Трабелсси Салим. Нанотехнологии образования наномеров	123
Воробьев А.Е., Кочофа Г.А., Малюков В.П., Лысенкова З.В., Капитонова И.Л., Мартин Зарума Торес, Каукенова А.С., Синченко А.В., Чекушина Е.В., Нарожный И.М., Ибрагимов Р. Становление современного рынка наноиндустрии	129
Рогов В.А., Примиренко Д.П., Кошеленко А.С. Визуализация параметров точности размеров деталей на этапах технологического процесса механической обработки методом размерного анализа	138
НАШИ АВТОРЫ	145

BULLETIN

SCIENTIFIC JOURNAL

of Peoples' Friendship University of Russia

Founded in 1993

Series

ENGINEERING RESEARCHES

2015, N 1

Series founded in 2000

Peoples' Friendship University of Russia

CONTENTS

OIL AND GAS

- Bestuzheva N.A., Romero Barrenechea Moisés Esau.** The subsurface management position of Nepa-Botuobin north end oil-gas area and also Katanga and Syugdzherskaya oil-gas area 5
- Klavdieva N.V., Chernyh E.M., Zubkova E.V.** Dataware for research of oil-gas well core at the affiliate «Aprelevka department of VNIGNI» 11
- Zubkova E.V., Zhorzh N.V., Myursep A.G.** The integration of geophysical and geochemical methods for prospecting of hydrocarbon deposits on southwest part of the Caspian depression (Astrakhan region) 19

GEOLOGY AND GEOPHYSICS

- Abramov V.Yu., Vlasov P.N.** On some litho-stratigraphic and field geological characteristics of productive horizons West-Leninogorsk area to the Romashkinskoye deposit 27
- Filatova L.K., Filatov E.I.** Acid volcanic rocks of devonian basalt-rhyolite formation of rudny Altai, their facies and petrogenesis 37
- Pyzhova E.S., Popova N.S.** U/Pb Age of detrital zircons from sandstones of the upper emsian diamond takaty formation of the Western Urals 45

Antonio Fermin Campos Cedeno (Ecuador), Sinichenko E.K., Gritsuk I.I. Morphometric characterization parameters of river basin of Manabi (Ecuador)	52
Chamov N.P., Kostyleva V.V., Sokolov S.Yu., Kotelnikov A.E. The possible impact of gas-bearing fluids on sediment in the arch Fedynskogo (Barents sea)	62

INNOVATION RESEARCH PROGRAMS IN ENGINEERING

Belyaev V.V., Gorbunov A.A., Moyseyenko S.V., Murauski Al.A., Murauski An.A., Popov I.V., Bunkina N.A., Pupkov K.A., Solomatin A.S. Automated system for measuring the parameters of the interaction with the surface of the liquid crystal alignment layer of a liquid crystal cell	73
Gritsuk I.I., Debolskiy V.K., Maslikova O.Ya., Ponomarev N.K., Sinichenko E.K. Pilot study of influence of solar radiation on intensity of snowmelt	83
Diveev A.I., Shmalko E.Yu. Two-stage synthesis of control system by the network operator method	91
Makarov E.V., Monakhov I.A., Nefedova I.V. Biaxial stretching of the plate a circular hole	100
Monakhov I.A., Basov U.K. The little deflections of the previously intense ideal plastic beams with the regional moments and load distribution	106
Kuznetsov E.B., Leonov S.S. Mathematical modeling of the pure bending for the multi-modulus aviation material beam at creep conditions	111
Vorobiev A.E., Kochofa G.A., Malukov V.P., Lysenkova Z.V., Kapitonova I.L., Zaruma Martin Torres, Chekushina E.V., Ibragimov R., Kaukenova A.S., Sinchenko A.V., Narozhnyi I.M., Trabelssi Salim. Nanotechnological formation of nanomers	123
Vorobiev A.E., Kochofa G.A., Malukov V.P., Lysenkova Z.V., Kapitonova I.L., Zaruma Martin Torres, Kaukenova A.S., Sinchenko A.V., Chekushina E.V., Narozhnyi I.M., Ibragimov R. Formation of modern market nanoindustry	129
Rogov V.A., Primireenko D.P., Koshelenko A.S. Accuracy of the proportions parameters visualization of the technological process parts being mechanically processed. Dimensional analysis applied	138
OUR AUTHORS	145

НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО

УДК 553.982

СОСТОЯНИЕ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ, КАТАНГСКОЙ И СЮГДЖЕРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Н.А. Бестужева¹, Ромеро Барренечеа Моисес Эсау²

¹ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»
Шоссе Энтузиастов, 36, Москва, Россия, 105118

²Кафедра месторождений полезных ископаемых
и их разведки им. В.М. Крейтера
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

В связи со строительством трубопровода ВСТО необходимо наращивать минерально-сырьевую базу данного региона за счет слабоизученных территорий. Прослежена динамика состояния недропользования на исследуемой территории. Даны рекомендации по механизму проведения ГРП.

Ключевые слова: Лено-Тунгусская НГП, Непско-Ботуобинская НГО, Катангская НГО, Сюгджерская НГО, геологоразведочные работы, месторождение, структура, лицензия, конкурс.

Нефтегазовый комплекс Европейской части России играет существенную роль в энергообеспечении экономики России. Бесспорно, вторым после Западной Сибири регионом по величине ресурсов нефти и газа является Восточная Сибирь.

Нефтяной потенциал Восточной Сибири имеет довольно скромные показатели. Дальнейшее изучение нефтегазоносных комплексов приведет к новым открытиям и вовлечению в количественную оценку новых объектов, что существенно повысит нефтяной потенциал.

Хорошо известно, что по мере геологического изучения и повышения достоверности знаний о нефтегазоносности продуктивных комплексов нефтегазоносной провинции (НГП) на каждом этапе уточнения количественной оценки значение

начальных суммарных ресурсов (НСР) повышается. По мере перемещения геологоразведочных работ (ГРР) на склоны поднятий, во впадины и прогибы успешность разведки снижается. В этом же направлении уменьшается плотность НСР до 10 тыс. т углеводородов (УВ) на кв. км. Плотности НСР распределяются крайне неравномерно ввиду слабой изученности территории. На территории Катангской и Непско-Боткобинской НГО плотность НСР составляет 50—100 тыс. т/кв. км, на территории Сюгджерской НГО — от 10—30 тыс. т/кв. км.

Основными задачами работ по геологическому изучению недр и воспроизводству минерально-сырьевой базы (ВМСБ) УВ за счет средств федерального бюджета являются следующие:

— оценка нефтегазового ресурсного потенциала и его локализация в пока еще малоизученных отдаленных районах страны, в первую очередь в коридорах, прилегающих к трассам будущих нефтегазопроводов;

— выявление новых зон нефтегазоаккумуляции и новых нефтегазоносных горизонтов в изученных добывающих регионах.

Исследуемая территория относится к Лено-Тунгусской НГП Восточной Сибири. В административном отношении изучаемая территория относится к Республике Саха (Сюгджерская НГО и часть Непско-Боткобинской НГО), Красноярскому краю (Эвенкийский автономный округ (Катангская НГО)) и Иркутской области (часть Непско-Боткобинской НГО). В отличие от Западной Сибири углеводородный потенциал этого региона практически не освоен, что позволяет прогнозировать здесь открытие в первую очередь крупных месторождений. Результаты ГРР на южной части Непско-Боткобинской антеклизы и др. подтверждают высокие перспективы нефтегазоносности. Все выявленные месторождения тяготеют к южной части Восточно-Сибирского региона. Северные же районы изучены очень слабо, и их освоение является задачей ближайшего будущего.

Обзорная карта исследуемого района представлена на рис. 1.

Рассмотрим кратко состояние распределенного фонда (РФ) недр и нераспределенного фонда (НФ) недр, а также состояние ресурсной базы подготовленных к бурению объектов СЗ. На Сюгджерской НГО не выявлено ни одной структуры, подготовленной к бурению, в то время как на территории Катангской НГО можно наблюдать семь структур, на территории северной части Непско-Боткобинской НГО — 13 структур (ввиду большей изученности). Данные приводятся согласно Государственному балансу запасов, в соответствии с выделенной территорией исследования, картографическая база — электронная карта ВНИГНИ.

Согласно Государственному балансу запасов на 01.01.2013 и электронным картам ВНИГНИ видно, что в Катангской НГО по нефти преобладают мелкие месторождения, по газу — крупные, по конденсату — крупные и мелкие. В северной части Непско-Боткобинской НГО одно крупное месторождение (Санарское), одно мелкое (Ербогаченское).

Обратимся к лицензионным участкам, чтобы рассмотреть, какие типы лицензий преобладают на данной территории и каким вертикально-интегрированным компаниям (ВИНК), они принадлежат, а также к конкурсам и аукционам, которые проводились на данной территории с 2006—2013 гг. включительно. Проведя анализ, посмотрим какие результаты они принесли.

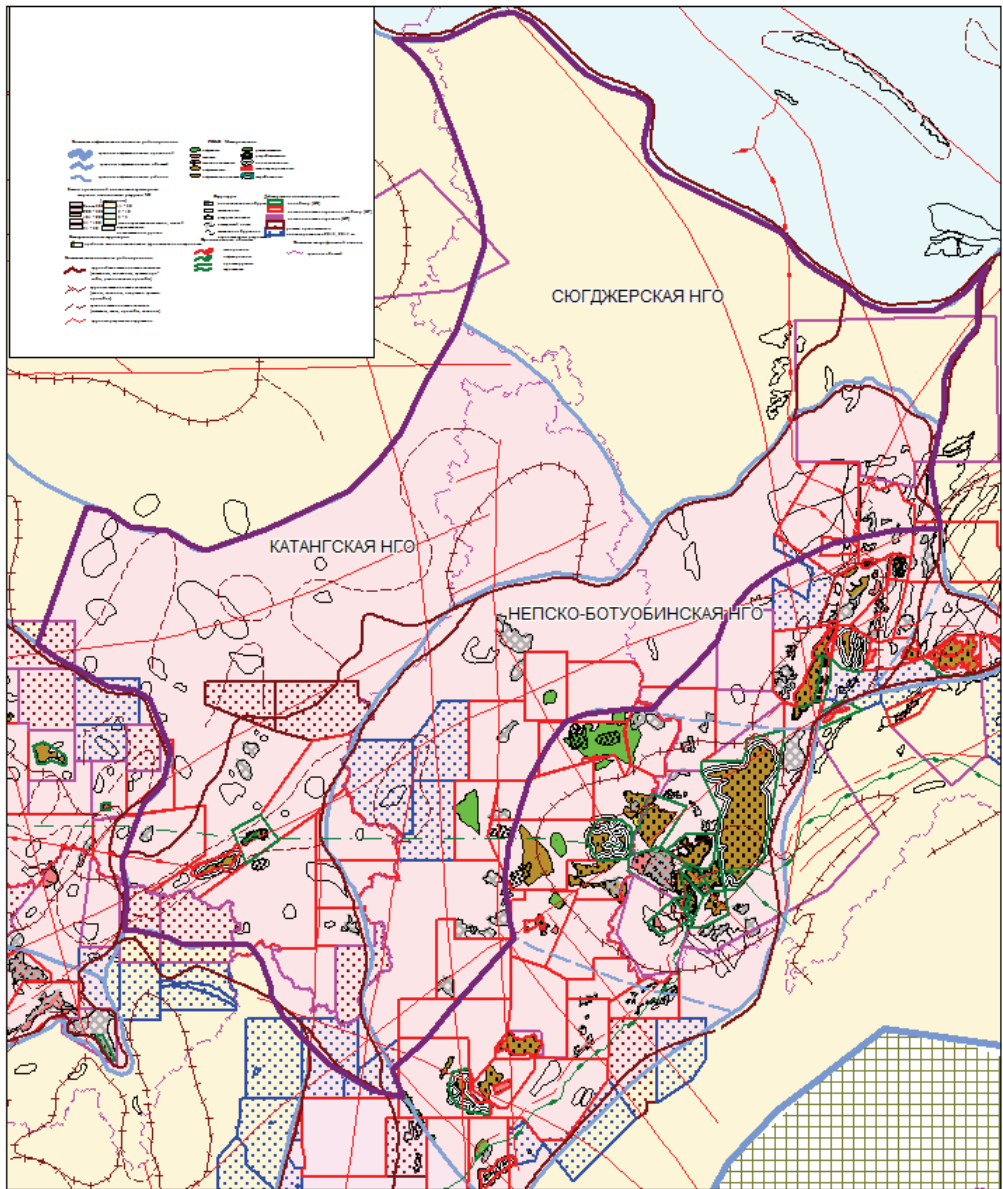


Рис. 1. Выкопировка из карты России (электронная карта ВНИГНИ)

Согласно проведенному анализу можно наблюдать динамику выдачи лицензий, а также целевые назначения работ в период с 2006—2013 гг. включительно (рис. 2). В 2006 г. было выдано четыре лицензии для геологического изучения, а также разведки и добычи углеводородного сырья (УВС) (тип НР), в 2007 г. наблюдается заметный рост, количество выданных лицензий возросло до семи, причем целевым назначением работ по-прежнему остается геологическое изучение, разведка и добыча УВС. С 2008 по 2010 г. наблюдается значительный спад, что можно связать с затяжным финансово-экономическим кризисом в стране, в эти годы

участки активно предлагали в пользование, которые впоследствии перешли с 2009 г. на 2010 г. и затем 2011 г. В 2012 г. выдача лицензий возобновилась. Было выдано четыре лицензии, две из которых на геологическое изучение (тип НП) и две на геологическое изучение, разведку и добычу (тип НР). В 2013 г. выдано четыре лицензии, из них три на геологическое изучение (НП) и одна на геологическое изучение, разведку и добычу (НР) УВС. Как видно, начиная с 2013 г. недропользователи охотнее берут участки в пользование на геологическое изучение. На начало 2014 г. намечается такая же тенденция, т.е. переходящие участки с прошлых лет носят целевое назначение — в основном геологическое изучение. В целом, на 2014 г. намечено для предоставления в пользование семь участков, из них два участка с целевым назначением — геологическое изучение, разведка и добыча.

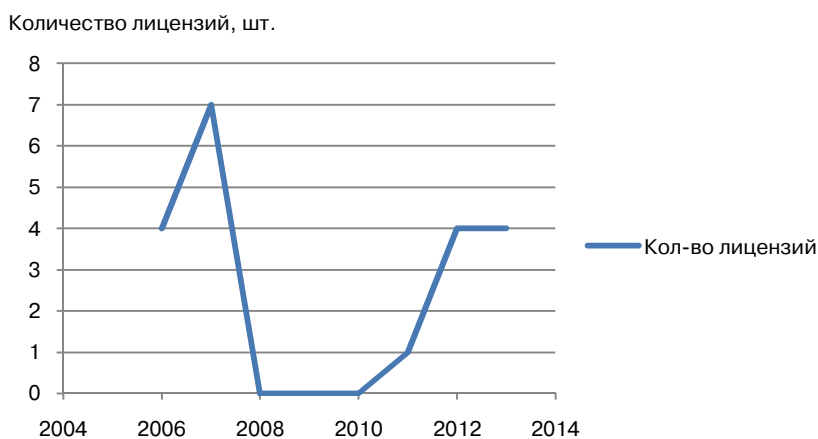


Рис. 2. Динамика выданных лицензий на исследуемой территории за период с 2006—2013 гг.

Лено-Тунгусская НГП в настоящее время имеет сравнительно низкую плотность перспективных и прогнозных извлекаемых ресурсов — 3,4 млн т/тыс. кв. км, ее изученность составляет всего 12,8% [1].

В 2006 г. проект строительства магистрального нефтепровода «Восточная Сибирь — Тихий океан» (ВСТО) из теории перешел в практическую часть. Как известно, нефтепровод ВСТО проектировался из расчета 50 и 80 млн т в год. Восточный нефтепровод строится с таким расчетом, что на первой стадии его эксплуатации загрузка трубы будет в значительной мере происходить с месторождений Западной Сибири. Окончательное заполнение трубы с месторождений Восточной Сибири планируется к 2020 г. К этому времени Иркутская область совместно с Якутией и Эвенкией (Красноярский край) намерена наращивать сырьевую базу. В настоящее время Минприроды России и Роснедра проводят политику концентрации ГРП на участках, прилегающих к трассе нефтепровода.

Все региональные ГРП, выполняемые в последние годы в Республике Саха за счет бюджетных средств, тяготеют к трассе магистрального нефтепровода ВСТО, с постепенным вовлечением новых территорий, расположенных дальше к северу. В последние годы региональные сейсморазведочные исследования проводятся комплексно и сопровождаются другими видами геофизических работ

(электроразведка, гравиметрия, аэромагнитная съемка) и полевыми геохимическими исследованиями по программе прямых поисков залежей углеводородов.

В северной части Непско-Ботуобинской антеклизы, в непосредственной близости от Иркутской области с 2005 г. по настоящее время региональными сейсморазведочными экспедициями изучен ряд крупных перспективных площадей (Верхне-Ботуобинская, Западно-Ботуобинская, Виллойская). К востоку от них региональной сейсморазведкой изучена крупная Виллойско-Мархинская перспективная площадь. Получены принципиально новые данные, существенно уточняющие прежние представления об отсутствии в данном районе Непско-Ботуобинской антеклизы терригенных отложений вендского возраста [2].

Значительному повышению достоверности прогноза нефтегазоносности и эффективности ГРП в целом способствуют комплексные тематические исследования. Представляют интерес исследования, проведенные ФГУП «ВНИГРИ» при участии других научно-исследовательских институтов и производственных организаций. Так, в рамках исследований по объекту «Разработка серии карт и схем нефтегазо-геологического содержания», а также выполняемых в настоящее время научно-исследовательских работ по обобщению результатов региональных работ по северной части Непско-Ботуобинской НГО был осуществлен прогноз новых крупных зон нефтегазонакопления (более 8—10 объектов) в Непско-Ботуобинской, Предпатомской, Сюгджерской и Западно-Виллойской НГО, обоснованы рекомендации по приоритетным направлениям дальнейших ГРП на нефть и газ и выбору первоочередных нефтегазоперспективных участков недр для лицензирования с уточнением их УВ потенциала (более 600 млн т.у.т. категории С3 + Д1 лок.) [2].

Лицензирование недр ведется в рамках реализации Программы по геологическому изучению и воспроизводству минерально-сырьевых ресурсов до 2020 г., но заметно существенное отставание от предусмотренных программой темпов лицензирования и, соответственно, темпов проведения ГРП на нефть и газ за собственные средства предприятий. Указанные работы будут способствовать наращиванию сырьевой базы углеводородов и в среднесрочной перспективе могут оказать существенное влияние на увеличение вклада в нефтедобычу и наполнение нефтепровода ВСТО, а также обеспечат значительный задел на перспективу в развитие нефтегазодобывающих центров в Республике Саха (Якутия).

Значительное увеличение инвестиций, обеспечивающих реализацию предлагаемых объемов геологоразведочных работ, возможно только при изменении существующего механизма их финансирования. В качестве основного механизма можно предложить разработку системы страхования геологических рисков. В качестве дополнительных рычагов воздействия можно рассматривать возврат к отчислениям на ВМСБ, существовавшим до 2002 г., либо введение компенсации компаниям затрат на проведение ГРП за счет вычетов из НДС.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Попов А.П., Плесовских И.А., Афанасенков А.П., Пырьев В.И., Шелепов В.В., Пороскун В.И., Соловьев Б.А., Келлер М.Б., Лоджеская М.И., Судо Р.М., Иутина М.М. Состояние сырьевой базы нефти и газа Российской Федерации // Геология нефти и газа. —

2012. — № 5. — С. 14. [*Popov A.P., Plesovkikh I.A., Afanasenko A.P., Pyrev V.I., Shelepov V.V., Poroskun V.I., Soloviev B.A., Keller M.B., Lodzhevskaya M.I., Sydo R.M., Iutina M.M.* Sostoyaniye syrevooy basy nefi i gaza Rossiyskoy Federatsii // *Geologiya nefi i gaza*. — 2012. — № 5. — s. 14.]

- [2] *Хлебников П.А., Прищепина О.М., Ситников В.С., Кушмар И.А.* Перспективы геолого-разведочных работ в Республике Саха (Якутия), 2011. С. 122, 124. www.federalbook.ru [*Khelnikov P.A., Prishepa O.M., Sitnikov V.S., Kushmar I.A.* Perspektivy geologo-rasvedochnykh работ в Respublike Sakha (Yakutiya), 2012. S. 122,124. www.federalbook.ru]
- [3] Государственный баланс запасов на 01.01.2013 г. [*Gosudarstvenniy balans zapazov na 01.01.2013 g.*]

THE SUBSURFACE MANAGEMENT POSITION OF NEPA-BOTUOBIN NORTH END OIL-GAS AREA AND ALSO KATANGA AND SYUGDZHERSKAYA OIL-GAS AREA

N.A. Bestuzheva¹, Romero Barrenechea Moisés Esau²

¹FGUP “All-Russia research geological oil institute”
Enthusiast av., 36, Moscow, Russia, 105118

²Peoples’ Friendship university of Russia
Ordjonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

The authors noted that due to the fact of pipe construction East-Siberia — Pacific ocean it is essential to accumulate a mineral raw material base of this region by means of frontier regions. In bulk the dynamics of subsurface management is observed into researched area. The mechanism of geological exploration has been given.

Key words: Lena-Tunguska Province, Nepa-Botuobin oil-gas area, Katanga oil-gas area, Syugdzherskaya oil-gas area, geological exploration, field, trap, license, auction.

**ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ
ПО ИЗУЧЕНИЮ КЕРНА НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН
В ФИЛИАЛЕ «АПРЕЛЕВСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ВНИГНИ»**

**Н.В. Клавдиева¹, Е.М. Черных¹,
Е.В. Зубкова²**

¹Филиал «Апрелевское отделение ВНИГНИ»
ул. 1-я Кетрица, 1, Апрелевка, Московская область, Россия, 143363

²Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 11541

В статье приведены результаты формирования информационных ресурсов по керну глубоких скважин, пробуренных на нефть и газ, в Филиале «Апрелевское отделение ВНИГНИ», показаны используемые структуры данных и намечен путь к созданию единого информационного пространства кернохранилища.

Ключевые слова: скважина, керн, кернохранилище, база данных, информационная система.

В современном комплексе методов изучения недр Земли важную роль играет бурение, являющееся прямым способом получения ценной геологической информации о глубинном строении земной коры. Полученный в результате бурения керн — природный носитель информации о вещественном составе и свойствах геологической среды — имеет важнейшее значение для решения широкого круга фундаментальных и прикладных задач недропользования, особенно для объективной интерпретации результатов региональных геолого-геофизических работ и прогнозной оценки нефтегазоносности недр. Изучение этого важнейшего геоинформационного ресурса позволяет установить морфологию и структуру нефтегазоносных резервуаров, реконструировать обстановки осадконакопления, исследовать распределение коллекторских свойств в нефтегазоносных толщах и помогает решать широчайший спектр прикладных задач — от регионального прогнозирования и выделения новых перспективных площадей до построения геологических и технолого-экономических моделей конкретных месторождений.

В Филиале «Апрелевское отделение ВНИГНИ» проводится систематический сбор информации по керну глубоких скважин, пробуренных на нефть и газ, для обеспечения научно-исследовательских работ, проводимых Филиалом и различными отделами ВНИГНИ. Основное внимание уделяется параметрическим и опорным скважинам, а кроме того, поисковым, разведочным и сверхглубоким, вскрывшим глубокие горизонты осадочного чехла нефтегазоносных территорий. В результате создан ряд баз данных (БД), в которых накоплен большой объем информации по керну в различных форматах (табл.).

**Базы данных Филиала «Апрелевское отделение ВНИГНИ»
по состоянию на 01.09.2014 г.**

Наименование базы данных	Тип БД*	Объем, МБ	Форматы данных
Аналитическая информационная система «Керн»	Ф	128	Clarion, Btrieve
Докембрийские отложения опорных и параметрических скважин Восточно-Европейской платформы	Д	4 173	MS Excel, Word, CorelDRAW, TIFF, JPG, LAS
База данных керна, шлифов, результатов литологических, геохимических, петрофизических исследований пород опорных и параметрических скважин Северо-Кавказской нефтегазоносной провинции	Д	1 189	MS Excel, Word, TIFF, JPG, LAS
Параметрические скважины — охарактеризованность керном и лабораторными исследованиями	Ф	15,1	MS Access
Рифейские, вендские и кембрийские отложения в скважинах Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции	Д	55,9	MS Excel
Кернохранилища России	Ф/Д	3,4	MS Excel, Word
Керн-2011 (скважины, керн, шлифы, литологические и палеонтологические коллекции, каталог каротажных диаграмм, каталог архива геолого-геофизической документации)	Ф	84,0	MS Access
Автоматизированная информационная система удаленного доступа «Керн-Недра»	Ф/Д	ок. 4000	PostgreSQL

* Ф — фактографическая, Д — документографическая,

В 1996–2004 гг. создавалась аналитическая информационная система (АИС) «Керн» для обеспечения единой технологии сбора и обработки данных по керну глубоких скважин на нефть и газ. С 2005 г. финансирование разработки АИС «Керн» было прекращено, и следующие базы данных были созданы с использованием общепринятых форматов цифровых данных: текстового — MS Word, табличного — MS Excel, графических векторного — CorelDRAW, растровых — TIFF, JPG, а также формата хранения данных геофизических исследований скважин — LAS. В результате сформированы две однотипные БД: «Докембрийские отложения опорных и параметрических скважин Восточно-Европейской платформы» (2006—2007 гг.) и «База данных керна, шлифов, результатов литологических, геохимических, петрофизических исследований пород опорных и параметрических скважин Северо-Кавказской нефтегазоносной провинции» (2006—2008 гг.). Они содержат сведения об интервалах отбора керна, макро- и микроскопические описания пород, результаты биостратиграфических, петрографических и геохимических исследований керна, а также оцифрованные каротажные диаграммы. База данных докембрийских отложений Восточно-Европейской платформы содержит информацию по 68 скважинам, расположенным в пределах различных тектонических элементов платформы: Московская синеклиза — 29 скважин, Мезенская синеклиза — 4, Пачелмский авлакоген — 8, Воронежская антеклиза — 3, Волго-Уральская антеклиза — 21, Днестровская впадина — 3. БД Северо-Кавказской нефтегазоносной провинции содержит сведения по 31 скважине в пределах трех административных областей: Ростовская область — 10 скважин, Краснодарский край — 16, Ставропольский край — 5. Обе базы данных организованы как документографические: они представляют собой файловую систему иерархического типа и включают четыре блока информации: «Керн», «Шлифы», «Аналитические исследования» и «Результаты геофизических исследований скважин (ГИС)» (рис. 1). Отличие БД

Северо-Кавказской НГП состоит в том, что признаки горных пород введены в таблицы в виде кодов в соответствии с методическими рекомендациями по обработке и аналитическим исследованиям керна опорных и параметрических скважин [1].

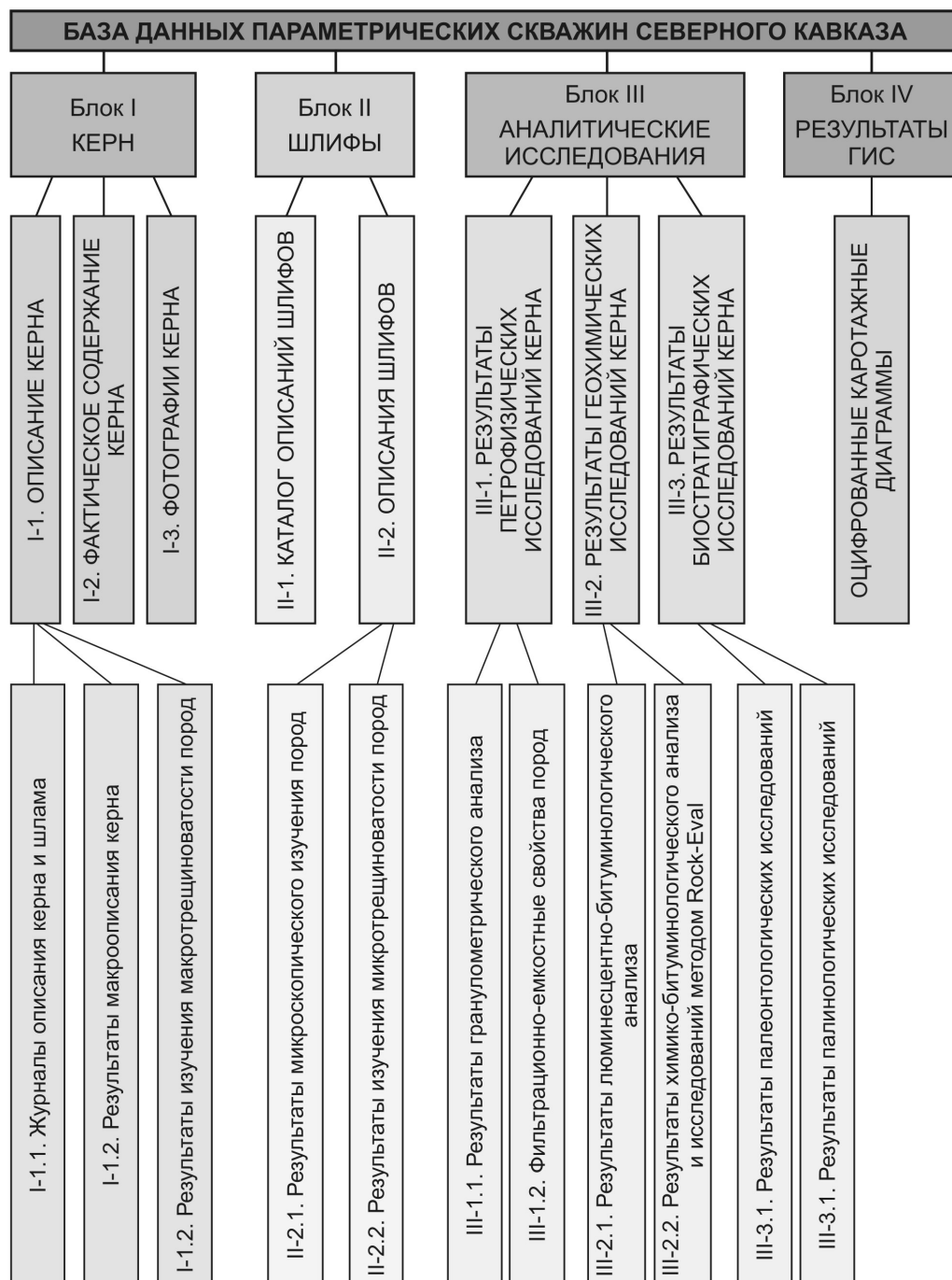


Рис. 1. Структура базы данных керна, шлифов, результатов литологических, геохимических, петрофизических исследований пород опорных и параметрических скважин Северо-Кавказской нефтегазоносной провинции (форматы — MS Excel, Word, CoreIDRAW, TIFF, JPG, LAS)

База данных «Параметрические скважины — охарактеризованность керном и лабораторными исследованиями» (2007—2010 гг.) содержит сведения по 2947 скважинам, пробуренным на территории Российской Федерации и ее континентальном шельфе начиная с 1940-х годов по 2008 г. Эта фактографическая БД создана в формате Microsoft Access 2000 и состоит из трех таблиц (рис. 2): таблица скважин («Скважины»), сводный каталог фондовых источников информации («Информ»), таблица источников информации по скважинам («ИстИнф»).

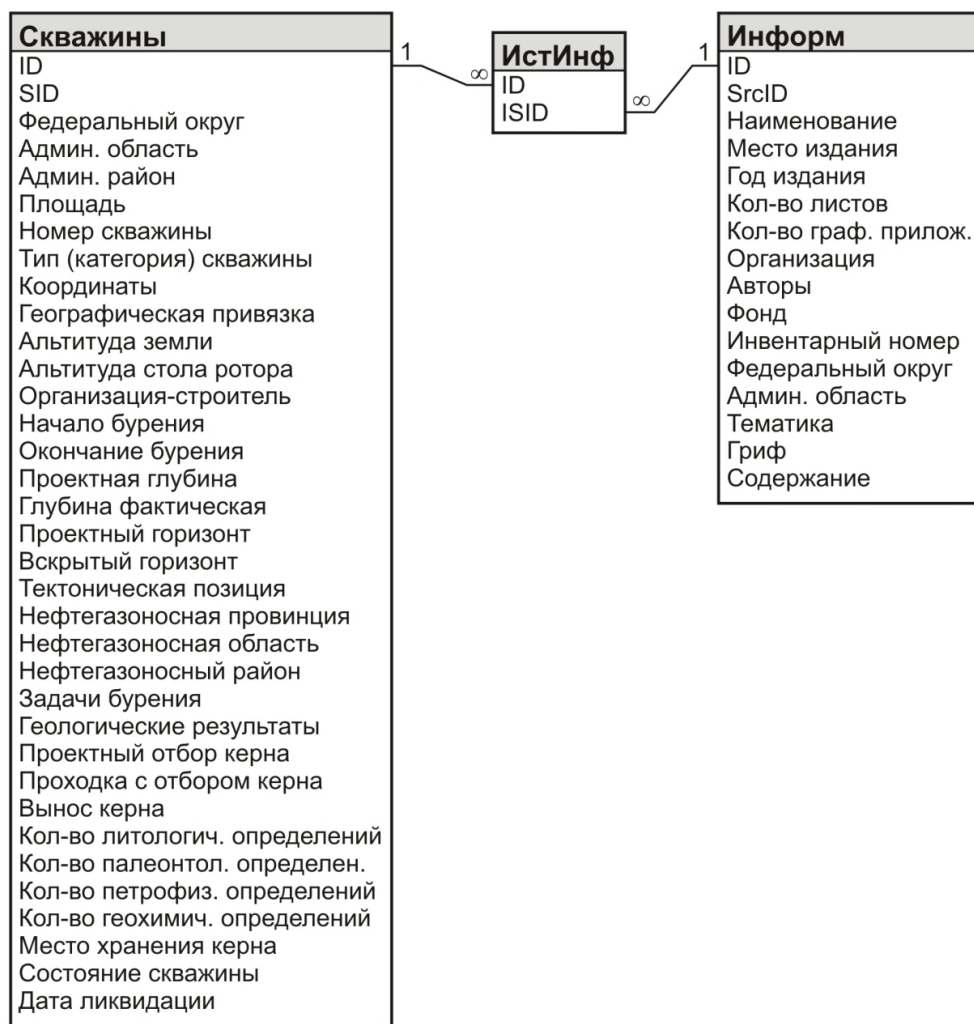


Рис. 2. Структура БД «Параметрические скважины — охарактеризованность керном и лабораторными исследованиями» (формат MS Access)

Таблица скважин содержит информацию по отдельным скважинам (одна запись — одна скважина). Информация по скважине включает ее наименование, административное положение, координаты, организацию-строителя, сроки бурения, глубину, вскрытый горизонт, тектоническую и нефтегеологическую позицию, проходку с отбором керна, вынос керна, сведения об аналитических исследова-

ниях — всего 51 поле данных. Координаты скважины приводятся в двух формах: 1) градусы и минуты долготы и широты; 2) десятичные градусы долготы и широты. Поскольку координаты скважины приводятся в отчетах не всегда, а для привязки указывается ближайший населенный пункт или другой объект и даются расстояние и азимут от него на скважину, в структуру таблицы скважин включены четыре соответствующих поля: наименование пункта привязки, его тип (город, поселок, скважина и др.), расстояние до скважины, азимут на скважину (на рис. 2 указанные четыре поля условно объединены в строку «Географическая привязка»). Эта информация помогает «привязать» скважину к карте и определить ее сферические координаты (долготу и широту).

Сводный каталог фондовых источников информации содержит перечень отчетов и других источников информации, хранящихся в четырех организациях: ФГУ НПП «Российский федеральный геологический фонд» (Росгеолфонд), ВНИГНИ, Филиал «Апрелевское отделение ВНИГНИ», Северо-Кавказский филиал ФБУ «ТФГИ по ЮФО» (Ессентуки). В каталоге, состоящем из 23 полей, для каждого источника информации приводится полный перечень атрибутов в соответствии с каталогами соответствующих фондов, а также дополнительная информация: административная принадлежность объекта, описываемого источником информации (скважина, площадь работ и т.п.), и тематика источника, позволяющая делать выборку отчетов по разным типам (категориям) скважин, либо по бурению на отдельных площадях и т.д. Таблица источников информации по скважинам («ИстИнф») служит для указания списка источников, из которых получена информация по каждой скважине, и состоит из двух полей — идентификатора скважины (ID в таблице «Скважины») и идентификатора записи в каталоге источников информации (ID в таблице «Информ»). Таким образом, данная таблица реализует связь типа «многие ко многим» между сущностями «Скважина» и «Источник информации», поскольку, в общем случае, информация по одной скважине поступает из нескольких источников, а один источник информации содержит сведения по нескольким скважинам.

База данных Лено-Тунгусской НГП, созданная в 2009—2010 гг., содержит информацию по 184 скважинам. Данные по каждой скважине помещены в отдельную папку и организованы в несколько документов Excel, содержащих определенный вид информации: общая информация, стратиграфическое расчленение разреза, описание керна и шлама, описание шлифов, гранулометрический состав пород, минералогический состав пород, результаты палеонтологических исследований, петрофизические свойства пород, результаты геофизических исследований скважины, результаты геохимических исследований органического вещества пород, химический состав пород, результаты опробования скважины, состав воды, природного газа, растворенного газа, нефти и др. Доступ к информации организован из общего каталога (файл Excel), в котором перечислены все скважины, указаны виды информации, внесенной по каждой скважине, и созданы гиперссылки, открывающие соответствующие файлы. Записи в каталоге могут быть отсортированы или отфильтрованы по административному положению скважин (субъектам РФ) и нефтегазоносным областям.

В Базе данных «Кернохранилища России» собраны сведения по 344 кернохранилищам различной специализации (углеводороды, другие полезные ископаемые) и ведомственного подчинения, а также принадлежащим негосударственным предприятиям. База данных представляет собой таблицу в файле Excel и папку с паспортами кернохранилищ в формате документов Word, которые открываются посредством гиперссылок из основной таблицы (рис. 3).



Рис. 3. Структура БД «Кернохранилища России»
(форматы MS Excel, Word)

Такой подход к сбору данных, при котором они рассредоточиваются по разным информационным объектам (базам данных), имеющим различную структуру и даже разный принцип организации, приводит к возникновению ряда проблем при последующем использовании информации. Во-первых, возникает дублирование данных, иногда сопровождающееся их противоречивостью (т.е. для одного и того же объекта введены разные значения атрибута). Во-вторых, отсутствует контроль целостности данных. Поскольку изменения данных производятся несколькими операторами, трудно бывает согласовать их работу и проконтролировать корректность изменений. Главная же проблема — отсутствие средств поиска и выборки данных по заданным критериям, а также автоматического составления отчетов по выбранным данным. Информация о наличии данных получается путем ручного подсчета. Информация по запросу пользователя должна выбираться вручную, как правило, администратором БД.

Для обеспечения эффективного использования накопленной информации предполагается интеграция имеющихся баз данных в единой информационной системе (ИС), обеспечивающей сбор и хранение данных, поиск, выборку по заданным

критериям, формирование отчетов. Основное назначение такой ИС — хранение информации по скважинам, пробуренным на нефть и газ, по керну скважин и лабораторным исследованиям, а также по кернохранилищам России. ИС должна обеспечивать централизованное управление данными и контроль их состояния, обеспечение корректности и целостности данных, защиту от разрушения и несанкционированного доступа, многопользовательский режим работы с одновременным доступом к данным с рабочих мест в локальной вычислительной сети, визуализацию пространственно распределенной информации на электронной карте в географической информационной системе (показ на карте скважин, кернохранилищ, соответствующей инфраструктуры и пр.), удаленный доступ к данным через интернет-канал, отбор данных по запросам пользователя, выдачу данных в форме отчетов.

Первый шаг к созданию такой ИС сделан в 2011 г. путем интеграции имеющихся данных в единую фактографическую БД «Керн — 2011» в формате MS Access 2002/2003, которая содержит общую информацию по скважинам, данные по интервалам отбора керна, образцам керна, шлифам, литологическим и палеонтологическим коллекциям, каталог каротажных диаграмм, каталог архива геолого-геофизической документации.

Информация по керновому материалу, полученному за счет средств федерального бюджета и средств недропользователей (данные о скважинах, объеме керна, результатах аналитических исследований), должна быть доступна различным категориям пользователей в цифровом виде в соответствии с определенным регламентом. Пользователями этой информации могут выступать Роснедра и территориальные органы этого агентства, фонды геологической информации, кернохранилища, научно-исследовательские центры, организации-недропользователи и др. Удаленный доступ к информационным ресурсам Филиала «Апрелевское отделение ВНИГНИ» предоставляется посредством автоматизированной информационной системы (АИС) «Керн-Недра», разработанной в ОАО «НПЦ „Недра“» (г. Ярославль) и адаптированной к условиям Филиала «Апрелевское отделение ВНИГНИ» в 2011—2012 гг. Автоматизированная информационная система «Керн-Недра» представляет собой WEB-приложение, обеспечивающее удаленный доступ пользователей к базе данных PostgreSQL, содержащей общие сведения о скважинах, технологические данные, сведения о геофизических исследованиях скважин, информацию о керне, образцах, шлифах и их наличии в кернохранилище, а также о проведенных исследованиях керна. В пользовательском режиме система обеспечивает следующие возможности работы с информационными ресурсами кернохранилища: ознакомление с информацией по скважинам и керну, включая фотографии керна и шлифов, хранящиеся в системе в виде отдельных файлов JPG; поиск образцов с заданными характеристиками (интервалами глубин, литологией, стратиграфией); формирование информационных запросов с целью заказа образцов для проведения аналитических исследований.

Пополнение базы данных производится в ходе всех работ, выполняемых Филиалом «Апрелевское отделение ВНИГНИ», — инвентаризации и ревизии керна, создания шлифотеки, формирования литологических и палеонто-

логических коллекций, сбора геолого-геофизической документации по скважинам, перевода каротажных диаграмм с бумажных носителей на цифровые. Собранная информация выдается в пользование по запросам сотрудников ВНИГНИ и заинтересованных сторонних организаций.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Методические рекомендации по обработке, инвентаризации, систематизации, хранению и аналитическим исследованиям керна опорных и параметрических скважин. — М.: ВНИГНИ, 2008. — 160 с. [Metodicheskie rekomendacii po obrabotke, inventarizacii, hraneniju i analiticheskim issledovanijam kerna опорных i parametricheskikh skvazhin. — М.: VNIGNI, 2008. — 160 s.]

DATAWARE FOR RESEARCH OF OIL-GAS WELL CORE AT THE AFFILIATE “APRELEVKA DEPARTMENT OF VNIGNI”

N.V. Klavdieva¹, E.M. Chernyh¹,
E.V. Zubkova²

¹Affiliate “Aprelevka Department of VNIGNI”
1-st Ketrica str., 1, Aprelevka, Moscow Region, Russia, 143363

²Peoples’ Friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

In the article authors describe informational resources about deep well core at the Affiliate “Aprelevka Department of VNIGNI”, used data structures, and outline a way to united information space for a co-restorage.

Key words: well, core, corestorage, database, information system.

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ (АСТРАХАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Е.В. Зубкова, Н.В. Жорж, А.Г. Мюрсеп

Кафедра месторождений полезных ископаемых и их разведки
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

Геофизические методы направлены на выявление перспективных на наличие углеводородов структур, геохимические исследования направлены на определение заполненности этих структур УВ-компонентами. Совместное использование геологической, геофизической и геохимической информации приводит к существенному повышению достоверности поисковых работ и уменьшению коммерческих рисков.

Ключевые слова: углеводороды, поиск месторождений, комплексирование, геохимические методы, геофизические методы.

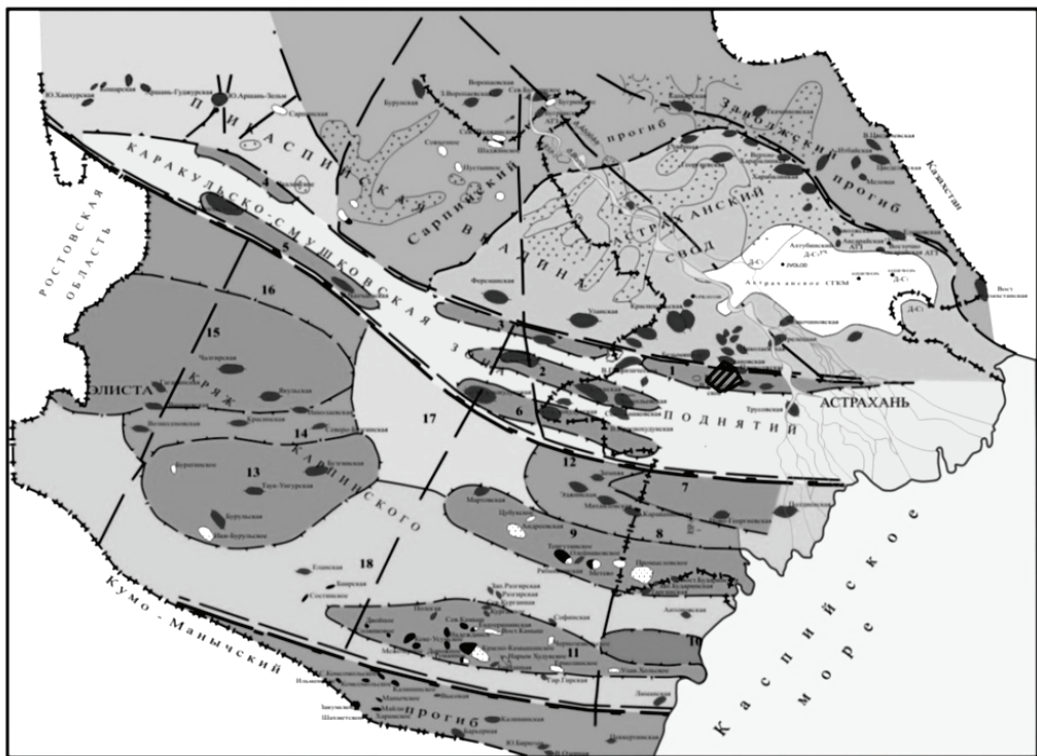
Как показывает практика последних лет, комплексирование геологической, геофизической и геохимической информации приводит к существенному повышению достоверности поисковых работ и уменьшению коммерческих рисков. При поисках месторождений углеводородов до постановки разведочного бурения экономически целесообразно комплексно изучить район исследований, поскольку формирование месторождений нефти представляет собой сложный процесс, а наличие ловушки и покрышки еще не гарантирует наличие флюида. Необходимо также иметь сведения о степени зрелости керогена в очаге (очагах) генерации и о возможных путях миграции углеводородов до ловушки.

К сожалению, применение только сейсмического 2D и 3D профилирования не всегда приводит к гарантированному положительному результату поисковых работ. Современные широко используемые методы обработки сейсмической информации (AVO, DHI) также далеко не всегда позволяют полностью разобраться в конкретной геологической ситуации, так как выделение перспективных структур на участке — всего лишь часть успеха. Для того, чтобы все-таки ответить на главный вопрос — заполнены ли выявленные структуры углеводородами и каков их состав (газ, нефть, газоконденсат), — применяют методы поверхностной поисковой геохимии, позволяющие заполнить нишу недостающей информации прямыми признаками присутствия углеводородов. Сейсмическое профилирование и геохимические исследования — два метода, не зависящие друг от друга, соответственно, они хорошо взаимодополняются. В случае достаточно профессионального и сбалансированного подхода к проведению совместной интерпретации сейсмических

и геохимических данных вероятность выявления месторождений углеводородов значительно увеличивается.

В 2011 г. группой геологов Российского университета дружбы народов была выполнена комплексная интерпретация геологических, геофизических и геохимических данных с целью прогноза нефтегазоносности Наримановского лицензионного участка.

Объект изучения находится в юго-западной части Прикаспийской впадины, изучение которой геофизическими методами началось с 1950-х гг. (рис. 1). Проведенные за эти годы исследования позволили достаточно надежно выявить основные морфологические особенности строения осадочного чехла до кровли подсолевых отложений [2].



Условные обозначения

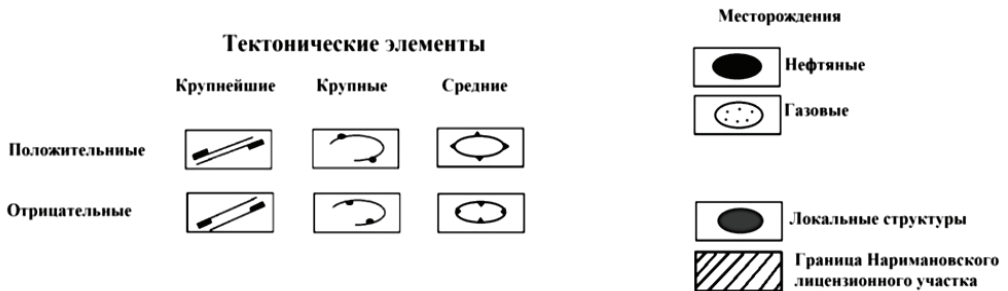


Рис. 1. Тектоническая схема Астраханско-Калмыцкого Прикаспия

С 1958 г. для изучения северо-западного Прикаспия стала применяться сейсморазведка МОВ. По итогам работ 1959—1964 гг. были построены структурные карты по верхнемеловому комплексу отложений и выявлены Таловское, Бешкульское, Тинакское, Беркультинское и ряд других поднятий.

В связи с переключением с 1968 г. нефтегазопроисковых работ на подсолевые отложения как более перспективные изучение надсолевого комплекса проводилось попутно. С начала 1990-х гг. изучение мезокайнозойских отложений возобновилось. Приоритетным направлением работ явились поиски различных типов ловушек юрско-мелового и палеоген-неогенового возрастов вне зон солянокупольной тектоники.

Сейсморазведочными работами МОГТ 1991—1995 гг. было изучено геологическое строение Бешкульской и прилегающих площадей по меловым и юрским отложениям. Впервые были построены структурные карты по кровле продуктивной пачки в подошве среднеюрских отложений (см. рис. 1). Был выполнен палеотектонический анализ данных сейсморазведки, ГИС, бурения и прогноз зон развития нефтеносных коллекторов.

Работами ООО «ЛУКОЙЛ-Астраханьморнефть» в 1999 г. была доказана нефтеперспективность песчаного пласта, выделенного в толще верхнего байосса и условно обозначенного как отражающий горизонт J_{2bn} . В результате исследований, проведенных астраханской геофизической экспедицией, был построен структурный план среднеюрских отложений в районе месторождения.

Дальнейшие работы по изучению нефтегазоперспективности территории в 2003 г. проводил ООО «Геопроект» (г. Саратов). По результатам работ были выделены нефтеперспективные объекты на Северо-Бешкульском участке и подтвержден объект на Южно-Бешкульском участке. Однако в результате бурения этих подготовленных объектов ловушек УВ не обнаружено.

С целью исследования вышеуказанных объектов в 2003—2006 гг. в пределах Наримановского участка были выполнены полевые сейсмические работы по методике высокого разрешения с использованием телеметрической системы, и обработан материал по специально разработанной в астраханской геофизической экспедиции методике. По результатам проведенных работ была предложена дизъюнктивная модель строения Бешкульского месторождения, рекомендовано бурение эксплуатационной скважины и проведение детализационных сейсмических работ на восточной периферии Бешкульского месторождения.

В результате проведенных сейсморазведочных работ МОГТ предложенная в 2004 г. сейсмогеологическая модель подтвердилась. Подтвердилось также преобладание тектонического фактора в формировании ловушки углеводородов Бешкульского месторождения. В 2006 г. впервые была построена структурная карта по реперу J_{2bn} , приуроченному к кровле нефтеносной пачки средне-байосских отложений. По результатам структурных построений, проведенных в 2006 г., были уточнены границы распространения нефтяных залежей Бешкульского месторождения, прослежены тектонические нарушения зоны дизъюнктивных дислокаций

(ДД), наблюдаемые в северо-восточной части Бешкульской площади. Был рекомендован объект к постановке разведочного бурения в северо-восточной части площади.

В 2007 г. на территории Наримановского лицензионного участка были проведены сейсморазведочные исследования с целью изучения геологического строения и выявления перспективных на нефть и газ объектов, а также подготовки последних к поисковому бурению. В процессе выполнения работ был использован весь объем информации, имеющейся по Бешкульской, Джакуевской и Тинакской площадям. Результатом проведенных исследований явилось выявление Медной и Барханной структур на территории Джакуевского участка и ряда более мелких объектов, а также уточнение строения зоны ДД. Для выяснения флюидопроницаемых и флюидопроводящих свойств экрана, которым по построенной сейсмогеологической модели является зона ДД, было рекомендовано проведение электроразведочных работ на рассматриваемой территории. В 2007 г. ООО «Солитон» были выполнены электроразведочные исследования методами зондирования электромагнитного поля в ближней зоне с использованием вторичного сейсмoeлектрического эффекта (ЗСБ-ВСЭФ) и вызванной поляризации (ВП) в пределах Наримановского лицензионного участка. По результатам комплексных электроразведочных работ были выделены геоэлектрические неоднородности в различных частях изученного мезозойского разреза, дана оценка перспективам их нефтегазоносности. Аномалии, выделенные по данным метода ВП, достаточно надежно коррелируются с выявленными по результатам сейсморазведочных работ антиклинальными объектам [2]. В 2010 г. ООО «Солитон» с целью прогноза нефтегазоносности были проведены электроразведочные работы методами ВП, ЗСБ-ВСЭФ и выделено пять перспективных объектов.

Выполненные в 2011 г. геохимические работы позволили подтвердить наличие УВ в структуре Восточно-Бешкульская, частично в структуре Ольгинская и Медная по Наримановскому лицензионному участку, а также позволили локализовать дальнейшие геолого-разведочные работы на наиболее перспективными структурам (рис. 2). По результатам проведения работ также получена геохимическая характеристика эталонного объекта — Бешкульского месторождения. Оценка выявленных структур проводилась с учетом данных полученных по эталонному месторождению. Это в первую очередь, относится к качественной оценке выявленных перспективных участков, которая проводилась с использованием коэффициента контрастности выделенных участков и значений среднего по участку для комплексных индикаторов [1].

Район исследований расположен в зоне, где нефтегазоносность мезозойских отложений имеет широкое распространение. В основном промышленные горизонты связаны с триасовыми, среднеюрскими и нижнемеловыми отложениями.

В породах среднеюрского возраста открыто два месторождения (Бешкульское, Верблюжье). Во многих скважинах отмечены нефте- и газопроявления. Продуктивными являются отложения, приуроченные к горизонту J_{2bn} в толще среднего байосса и кровле нижнебайосских отложений средней юры.

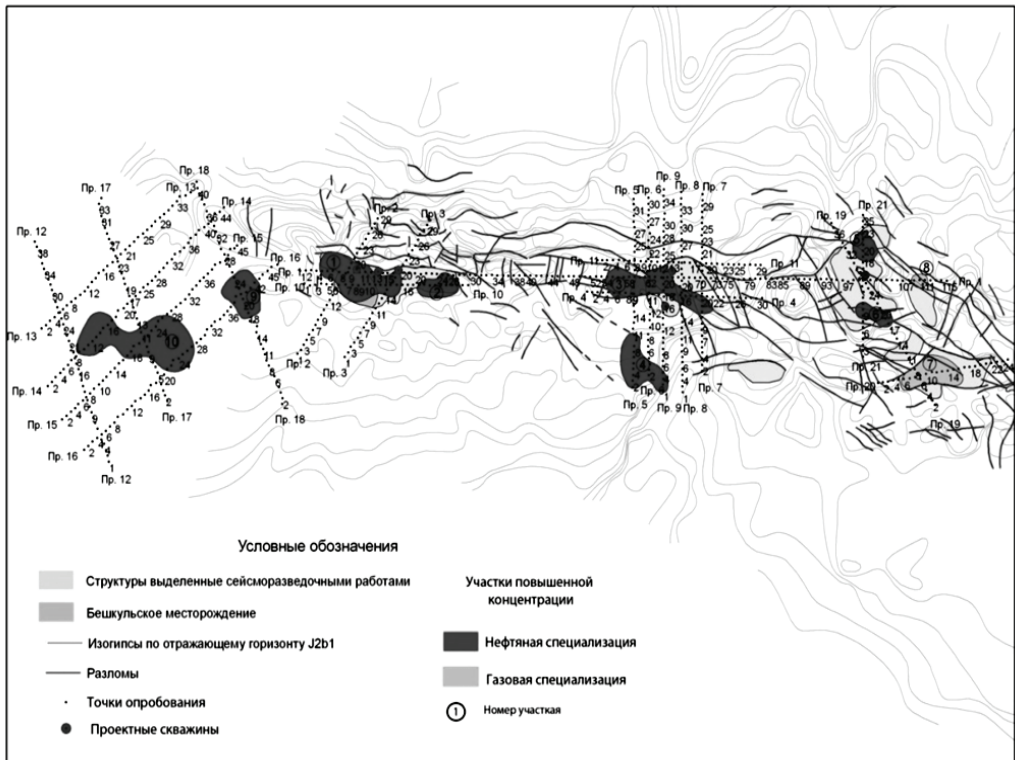


Рис. 2. Схема расположения структур, выявленных сейсморазведкой (2007 г.) и участков повышенных концентраций углеводородов, выделенных по результатам геохимической съемки (2011г.) [1]

В юрском комплексе известны продуктивные горизонты в байосском, батском ярусах средней юры и титонском ярусе верхнего отдела, сложенными полимиктовыми песчаниками и алевролитами. Промышленная нефтегазоносность в среднеюрских отложениях установлена как на соляных куполах, так и на локальных поднятиях Астраханско-Заволжского свода. Так, на Лукашевском куполе из песчаных пород аален-батского возраста с глубины 1000—1002 м был получен фонтан газа. Залежи и притоки нефти обнаружены на Бешкульской, Верблюжьей, Тинакской, Разночиновской и Кирикилинской площадях Астраханской области, также отмечены многочисленные нефтегазопроявления в Саратовской области на Озинской, Спортивной и Таловской площадях.

На Бешкульской площади в байосских песчаных пластах открыто промышленное месторождение нефти. Продуктивные скважины 2, 17, 18, 21 и др. В состав нефти входит 46% нефтяных углеводородов, 43,9% метановых углеводородов, 9% ароматических углеводородов [2].

На Джакуевском участке пробурены три скважины — 4-, 10-, 12-Джакуевские. При испытании пластов — коллекторов нижнебайосских отложений в скважине 4-Джакуевская (1415—1420 м) был выделен слабосцементированный песчаник с запахом нефти, в хлороформе получена вытяжка коричневого цвета.

На Тинакском участке в разные годы было пробурено 10 скважин. Положительные результаты были получены в скважинах 3-, 5-Тинакские и 50-Бешкульская. Нефтепроявления в юрских отложениях в виде пластовой воды с пленками нефти зафиксированы на Тинакской, Кирикилинской, Разночиновской, и Веерной площадях. На Верблюжьей площади получен приток нефти из скважины № 9, обводненная нефть — из скважин № 3 и № 4. Пластовая вода с растворенным газом получена на Беркультинской и Долан-Алдынской площадях.

Потенциальные суммарные ресурсы нефти в юрских отложениях Южно-Астраханской группы поднятий, согласно оценкам И.А. Миталева, составляет 12 млн т. С учетом подготовленных запасов (Бешкульское месторождение) разведанность ресурсов в целом невысокая и составляет 12,8% [3]. Приведенные данные указывают на перспективность поисков УВ в мезозойском комплексе пород [2].

Основные перспективы наличия УВ в юго-западной части Прикаспия связаны с отложениями подсолевого этажа. Однако и в надсолевом комплексе открыт ряд нефтяных и газовых месторождений. К триасовым отложениям приурочен ряд газовых месторождений в Сарпинском прогибе — Бугринское, Шаджинское, Чапаевское и др. Продуктивными являются песчаники нижнего триаса. Образование ловушек УВ многими исследователями связывается с вертикальной и латеральной миграцией их из подсолевых горизонтов [5].

Важным моментом является определение очагов генерации УВ и направленность вторичной миграции от очагов к ловушкам. Наиболее вероятным сценарием представляется генерация жидких УВ в верхне-девон-каменноугольном комплексе, который повсеместно в данном регионе является основным очагом генерации УВ. К этому же комплексу можно добавить артинские отложения, также выступающие в качестве нефтематеринских пород по всему Северному Прикаспию. Уровень погружения данных пород на юге от участка работ вполне позволяет им генерировать УВ на протяжении длительного времени. Проблема вторичной миграции УВ от очагов генерации к перспективным структурам частично решается за счет наличия повсеместно развитых систем дислокаций, в том числе надвигового и сдвигового типа. Вариант генерации УВ непосредственно в толще байосских отложений — НГМТ-1, вероятно, не допустим, поскольку на юге Каракульско-Смушковской зоны происходит их полное выклинивание. Подток УВ с севера маловероятен в силу развития там зоны ДД и общего направления восстания к северу.

Таким образом, в результате проведения комплексной интерпретации геологических, геофизических данных и данных геохимической съемки были локализованы участки для дальнейших геолого-разведочных работ на наиболее перспективных структурах (см. рис. 2).

1. Восточно-Бешкульская структура. Это наиболее перспективный участок в поисковом смысле. Локализован на восточном фланге выявленной структуры, отчетливо выделяется по множеству геохимических параметров.

2. Западная и центральная часть Ольгинской структуры, пересекающая структуру узкой, широтно расположенной полосой. Предполагается блоковое заполне-

ние структуры углеводородами. Участок высокоперспективный, но проектные скважины расположены (Проектная-2 и Ольгинская-1) в других блоках.

3. Участок, расположенный южнее структуры Ольгинская, где не наблюдается выделенных сейсмическими работами структур. Участок выявлен по высоким значениям ряда соединений и комплексных индикаторов. На наш взгляд, здесь предполагается наличие тектонически экранированной структуры.

Также в результате исследований структура Медная была перенесена в категорию участков, требующих дополнительного комплексного детального исследования, поскольку может рассматриваться как в качестве структуры блокового заполнения, так и в качестве структуры с наличием зон повышенной проницаемости. Проектная скважина Медная-1 по геохимическим данным находится в пустом блоке; структура Барханная была исключена из перечня перспективных участков, поскольку наличие над структурой геохимической аномалии обусловлено проявлениями гипергенных процессов и генерацией бактериальных газов [3].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Воронин Н.И., Бродский А.Я., Делия С.В. Тектоническая схема Астраханско-Калмыцкого Прикаспия [карта]. — Астрахань: АстТФГИ, 2001. [Voronin N.I., Brodskiy A.Ya., Deliya S.V. Tektonicheskaya shema Astrahano-kalmikskogo Pricaspiya [karta]. — Astrahan: AstTFGI, 2001.]
- [2] Кузьмина О.В. Проведение сейсморазведочных работ с целью изучения геологического строения Наримановского лицензионного участка, выявления перспективных на нефть и газ объектов и подготовки их к поисковому бурению: Отчет. — Астрахань, 2009. [Kuzmina O.V. Provedeniye seismorazvedochnih rabot s zelyu izucheniya geologicheskogo stroeniya Narimanovskogo lizenzionnogo uchastka, vievleniya perspektivnih na neft I gas obyektov I podgotovki ih k poiskovomu bureniyu: Otchet. — Astrahan, 2009.]
- [3] Миротворский М.Ю. Проведение поисковых геохимических работ на территории Левобережного (300 км), Потемкинского (100 км) и Наримановского (200 км) лицензионных участков: Отчет. — М., 2011. [Mirotvorskiy M.Yu. Provedeniye poiskovih rabot na territorii Levobereznogo (300 km), Potemkinskogo (100 km) i Narimanovskogo (200 km) lizenzionnih uchastkov: Otchet. — M., 2011.]
- [4] Погожина В.И. Проведение сейсморазведочных работ 2D с целью детализации геологического строения Журавского, Березовского и Потемкинского лицензионных участков ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтегаз»: Отчет. — Волгоград, 2010. [Pogozhina V.I. Provedeniye seismorazvedochnih rabot 2D s zelyu detalizacii geologicheskogo stroeniya Zhuravskogo, Berezovskogo I Potemkinskogo lizenzionnih uchastkov ООО «LUKOIL-Volgogradneftegas»: Otchet. — Volgograd, 2010.]
- [5] Пыхалов В.В. Особенности строения ловушек нефти, приуроченных к антиклинальным инверсионным структурам Каракульского вала. — Астрахань: Изд-во АГТУ, 2009. [Pihalov V.V. Osobennosti stroeniya lovuchek nefti, priurochennih k antiklinalnim inversionnim strukturam Karakul'skogo vala. — Astrahan: Iz-vo AGTU, 2009.]

**THE INTEGRATION OF GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL
METHODS FOR PROSPECTING OF HYDROCARBON DEPOSITS
ON SOUTHWEST PART OF THE CASPIAN DEPRESSION
(ASTRAKHAN REGION)**

E.V. Zubkova, N.V. Zhorzh,

A.G. Myursep

Engineering faculty

Peoples' Friendship University of Russia

Ordjonikidze str., 3, Moscow, Russia, 117198

A geophysical methods is directed at research prospective hydrocarbons structures, geochemical studies aimed at determining the presence of hydrocarbon components in these structures. Integration of geological, geophysical and geochemical information allow for improve the accuracy of prospecting works and reduce the commercial risks.

Key words: hydrocarbons, exploration, integration, geochemical methods, geophysical methods.

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА

О НЕКОТОРЫХ ЛИТОЛОГО-СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ И ГЕОЛОГО-ПРОМЫСЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ПРОДУКТИВНЫХ ГОРИЗОНТОВ ЗАПАДНО-ЛЕНИНОГОРСКОЙ ПЛОЩАДИ РОМАШКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В.Ю. Абрамов, П.Н. Власов

Кафедра месторождений полезных ископаемых и их разведки
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

В статье рассмотрены некоторые литолого-стратиграфические и геолого-промысловые характеристики продуктивных горизонтов одного участка разработки, а именно Западно-Ленинградской площади Ромашкинского нефтяного месторождения.

Данные сведения будут интересны специалистам, занимающимся разработкой и исследованием данного месторождения.

Ключевые слова: Западно-Ленинградская площадь, литолого-стратиграфическая характеристика, геолого-физические характеристики.

Наиболее древними образованиями, которые вскрыты скважинами, являются породы кристаллического фундамента, возраст которых определили как архейский. Сложены они либо метаморфизованными породами, представленными биотит-гранитовыми и биотит-силикатными гнейсами, либо изверженными породами, внедрившимися в толщу гнейсов. К древним гранитам относятся кварцевые диориты, габбро-диабазы. Зоны развития магматических пород характеризуются полосовыми аномалиями гравитационными и магнитными полями. Для них характерна узкая линейная протяженность.

В состав осадочной толщи Западно-Ленинградского месторождения входят отложения девонской, каменноугольной, пермской и четвертичной системы.

Девонские образования в пределах Западно-Ленинградского нефтяного месторождения представлены двумя отделами — средним и верхним. В среднем отделе выделяются два яруса — эйфельский и живетский, которые представлены песчаниками и алевролит-глинистыми породами.

Пашийский горизонт является основным промышленным объектом Западно-Лениногорского месторождения. Нижняя его граница — кровля аргилитовой пачки (репер «глина») над пластом D_2 .

Верхняя граница пашийского горизонта проводится по подошве карбонатной пачки «верхний известняк». Мощность горизонта колеблется от 24 м (северо-восточная часть) до 52 м (юго-западная часть месторождения). Пашийский горизонт представлен пятью алевролит-песчаными пачками (пласты D_{1-a} ; D_{1-b} ; $D_{1-в}$; $D_{1-г}$; $D_{1-д}$), подразделенными алевролит-глинистыми отряслами.

К пашийским отложениям (горизонта D_1) нижефранского подъяруса приурочена основная промышленная залежь Западно-Лениногорского месторождения. Нефть относится к типу смолистых, сернистых и парафинистых. Удельный вес смол 27—37%, парафинов — 53%, средняя вязкость нефти по месторождению составляет 30 сп. На рис. 1 и 2 представлены схемы корреляции пластов по профилям I—I и II—II. На рис. 3 показана схема расположения скважин и профиля, по которым были составлены схемы корреляции.

Данные схемы были составлены по материалам каротажных диаграмм для скважин 6083а, 12449а, 12514а, 12529, 12495 (профиль I—I) и 39478, 12529, 39479 (профиль II—II).

На схемах показан реперный горизонт, литологическая неоднородность пластов и флюиды насыщающие пласты. Теперь рассмотрим нефтегазоносность района.

В процессе геологической съемки, бурения структурно-поисковых, разведочных, эксплуатационных и нагнетательных скважин на территории Западно-Лениногорской площади нефтепроявления различной интенсивности были отмечены в пермских, каменноугольных и девонских отложениях.

Основной промышленный объект — пласт D_1 , приурочен к пашийским отложениям нижефранского подъяруса верхнего девона. Корреляция и расчленение разрезов скважин осуществляется по двум основным реперам — карбонатной пачке (репер «верхний известняк»), залегающей в кровле горизонта и аргиллитовой пачке (репер «муллинская глина»), залегающей в подошве горизонта. Эти реперы регионально выдержаны и обычно хорошо прослеживаются на диаграммах электрометрии и радиометрии.

Это многопластовая, сводового типа залежь, площадь нефтеносности составляет 20 225 га. Параметр нефтеносности пластов, то есть соотношение количества скважин, вскрывших нефтенасыщенный коллектор, уменьшается вниз по разрезу от 1,0 (пласты D_{1a} , D_{1b_1} , D_{1b_2} , D_{1b_3}) до 0,182 (пласт $D_{1д}$).

Горизонт D_1 характеризуется высокой литологической связанностью пластов. Наибольший коэффициент связанности (Ксв.) между пластами D_{1b_1} — D_{1b_2} (0,349), $D_{1г_1}$ — $D_{1г_2}$ (0,686) и $D_{1г_2}$ — $D_{1д}$ (0,487). Промежуточное положение по Ксв. занимают пласты D_{1a} — D_{1b_1} (0,165), D_{1b_2} — D_{1b_3} (0,142), $D_{1в}$ — $D_{1г_1}$ (0,159). Наименьшей связанностью характеризуются пласты D_{1b_3} — $D_{1в}$ (0,032).

Краткая геолого-промысловая характеристика Западно-Лениногорской площади Ромашкинского месторождения. Западно-Лениногорская площадь расположена в южной части Ромашкинского нефтяного месторождения (рис. 4, 5). Разрез площади представлен отложениями девонской, каменноугольной и пермской систем палеозоя.

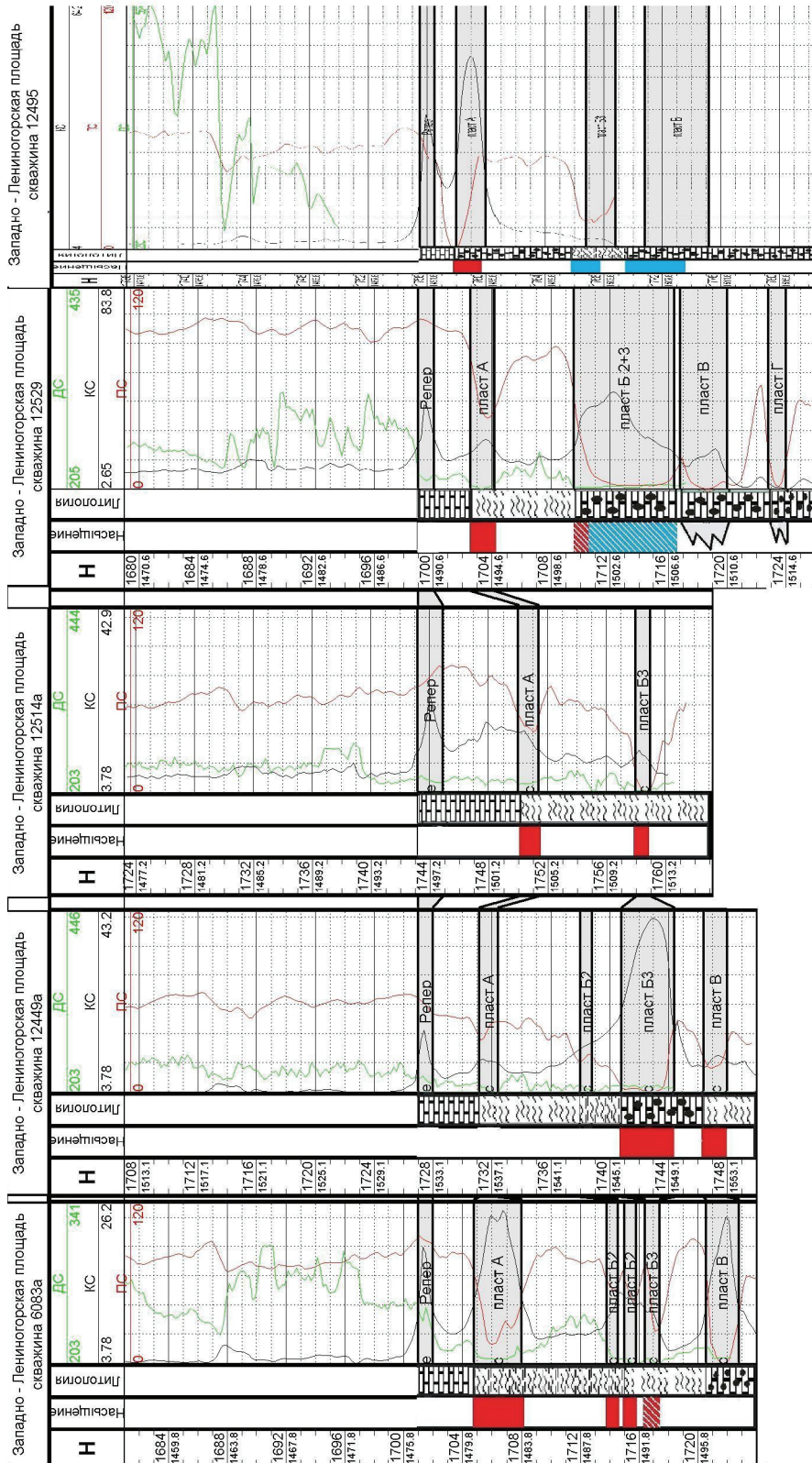


Рис. 1. Схема корреляции по профилю I—

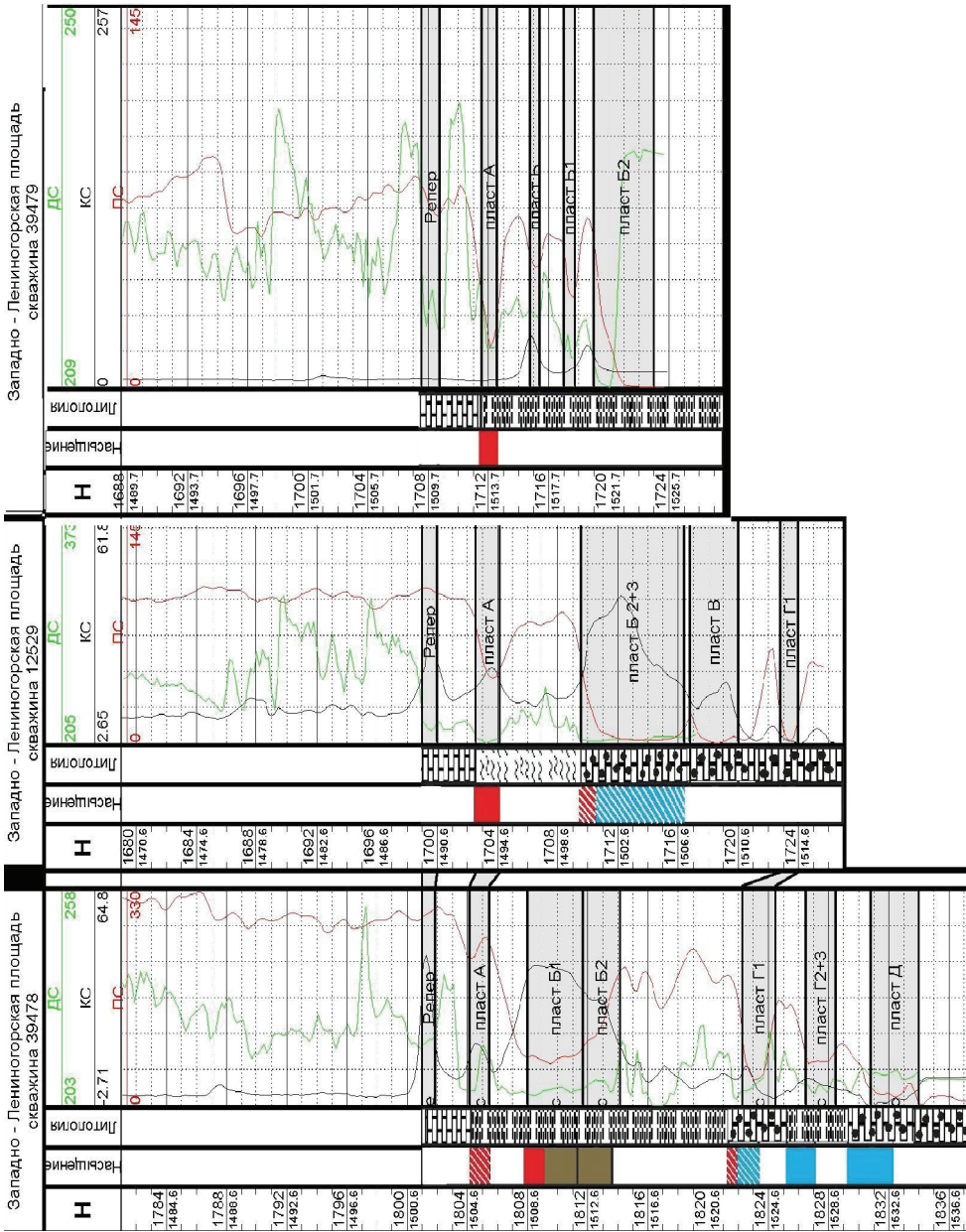


Рис. 2. Схема корреляции по профилю II—II

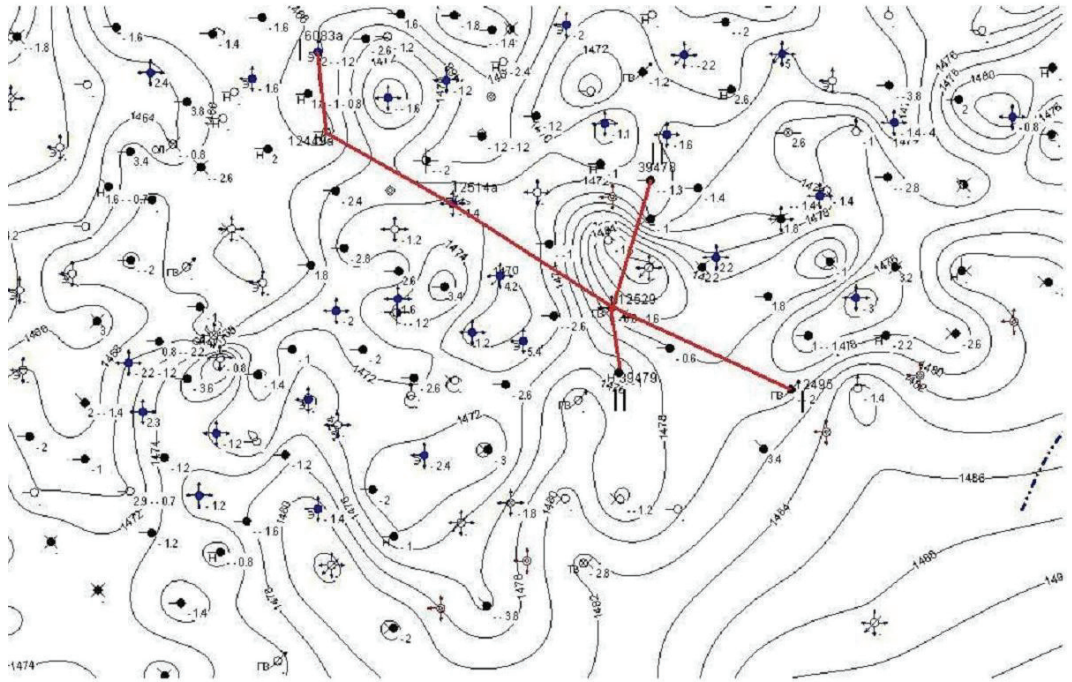


Рис. 3. Схема расположения скважин

Условные обозначения:

	скважины, переведенные на ниже-, вышележащий уровень
	скважины нагнетательные, пласт перфорирован, не перфорирован
	скважины эксплуат. под закачкой, пласт перфорир., не перфорир.
	скважины нагнетат. бездейств., пласт перфорир., не перфорир., залит
	скважины нагн. остановл. по тех. причинам, пл. перф-н, не перф-н
	скважины нагнетат. ликвидированные
	скважины, работающие на др. гор.-х. нагнетат., добыв.
	скважины нагнетательные, добывающие, горизонт залит
	скважины нагнетательные, добывающие в ожидании ликвидации
	скважины пьезометрические нагнетательные, добывающие
	скважины контрольные
	скважины проектные нагнетательные, добывающие
	скважины в освоении нагнетательные, добывающие
	скважины фонтанные, ЭЦН, ШНГ, пласт неперфорирован
	скважины фонтанные, ЭЦН, ШНГ, пласт перфорирован
	скважины добыв. бездейств., пласт перфор., не перфор., залит
	скважины добыв. в консервации, пласт перфорир., не перфор.
	скважины добывающие ликвидированные

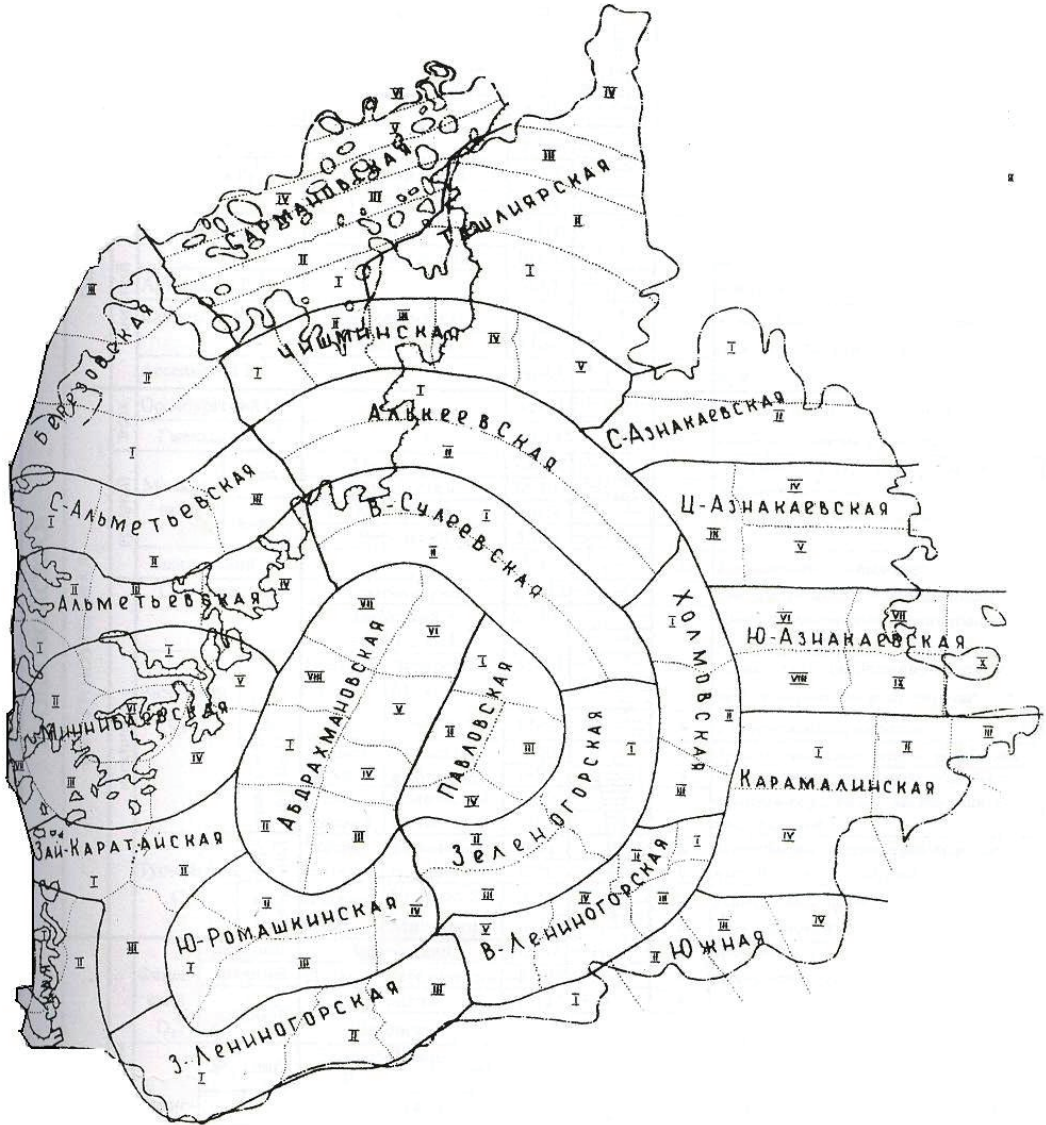


Рис. 4. Ромашкинское месторождение с площадями разработки и выделенными блоками:

Условные обозначения:

- границы площадей
 - границы блоков
 - внешний контур нефтеносности горизонта D_1
 - внешний контур нефтеносности горизонта D_0
 - линия регионального замещения пласта коллектора D_0
- II, III - номера блоков

Западно-Лениногорская площадь расположена на юге Ромашкинского месторождения. На севере площадь контактирует с Южно-Ромашкинской, на западе с Зай-Каратайской и на востоке с Восточно-Лениногорской площадями.

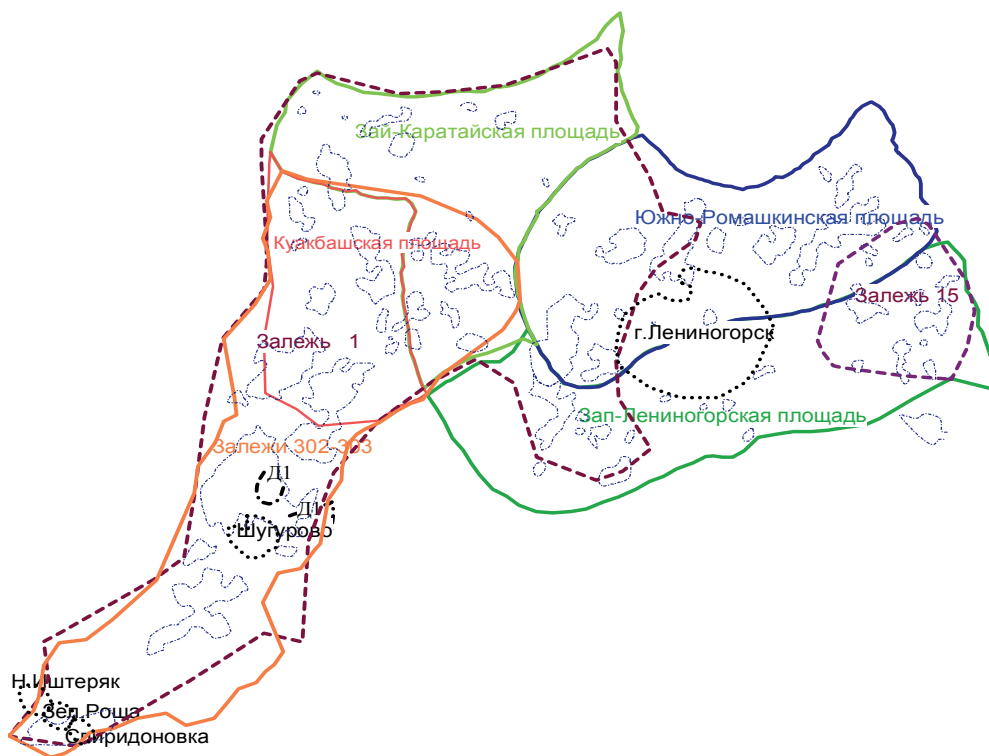
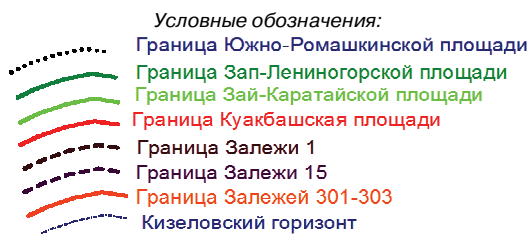


Рис. 5. Участок Ромашкинского нефтяного месторождения



Основным объектом разработки являются запасы нефти, приуроченные к терригенным коллекторам пашийского горизонта D_1 , которые представлены двумя группами: высокопродуктивные с проницаемостью более $0,100 \text{ мкм}^2$ и малопродуктивные с вариацией проницаемости $0,30—0,100 \text{ мкм}^2$. В свою очередь, в рамках первой группы выделены коллекторы с объемной глинистостью менее и более 2%. Таким образом, объект разработки D_1 представляется совокупностью трех типов пород-коллекторов с различной фильтрационной характеристикой, которые имеют прерывистый характер строения, выражающийся в смене одного типа коллекторов другим, а также и полным их замещением неколлекторами.

Фациальный состав коллекторов изменяется от гомодисперсных алевролитов до песчаных фракций.

Горизонт D_1 является многопластовым объектом в пределах общей толщины продуктивных отложений, которая в среднем составляет 34,0 м.

Выделенные блоки не равнозначны по представительности той или иной группы пород. Как в целом по пласту, так и по блокам происходит увеличение доли

коллектора сверху вниз. Из общей закономерности выпадает пласт «а» на втором и третьем блоках, по каждому доля коллектора выше, чем в нижележащих пластах пачки «б».

Аналогичная закономерность прослеживается по высокопродуктивным неглинистым коллекторам, но с различной представительностью в строении пластов.

Естественно, что разная степень представительности групп пород в строении пластов является одним из главных аргументов, определяющих состояние выработки запасов нефти. Очевидно, что это также является одной из важнейших причин особенностей выработки запасов по блокам.

В силу многопластового строения горизонта D_1 становится очевидным многообразие разрезов скважин с различным сочетанием пластов, представленных разными группами коллекторов и залегающих на различных стратиграфических уровнях. В результате обработки практически всех разрезов по скважинам они систематизированы в 6 типов с представительностью от 1 до 6 пластов. Кроме того, каждый из типов рассматривался с точки зрения возможных вариантов сочетания высоко и малопродуктивных коллекторов. В рамках выделенных типов разрезы сгруппированы в подтипы с их долей участия в строении объекта.

Таблица

Исходные геолого-физические характеристики

Наименование	Величина
Ср. глубина залегания, Н, м	1 750
Тип залежи	пластовый
Тип коллектора	терригенный
Площадь нефтеносности площади, $S_{\text{н}}$, га	20 225
Ср. толщина(нефтенас), $h_{\text{н}}$, м	6,26
Ср. насыщенность нефтью, доли ед	0,805
Пористость, m , доли ед	0,188
Проницаемость, k , мкм ²	0,283
Коэффициент вариации распределения проницаемости, $V(k)$, доли ед	0,7
Пластовое давление, $P_{\text{пл}}$, МПа	17,5
Пластовая температура, $T_{\text{пл}}$, С	38
Плотность нефти, $\tau/\text{м}^3$ пласт. усл	0,804
Давление насыщения нефти газом, $P_{\text{н}}$, МПа	7,41—9,32
Газосодержание нефти, $R_{\text{н}}$, м ³ /т	46,79—78,9
Газосодержание воды, $R_{\text{в}}$, м ³ /т	0,317
Вязкость нефти пласт. усл., (МПа · с)	3,4
Вязкость воды, (МПа · с)	1,93
Плотность нефти, $\tau/\text{м}^3$ поверх. усл	0,858
Плотность воды, $\tau/\text{м}^3$	1,186
Вязкость нефти поверх. усл., (МПа · с)	14,6
Содержание серы в нефти, %	1,3
Содержание парафина в нефти, %	2,8
Коэффициент нефтеизвлечения, доли ед.	0,6
Коэффициент вытеснения нефти водой, доли ед.	0,78
Коэффициент продуктивности, K , ($\tau \cdot 10$)/(сут. · Мпа)	1,3

В таблице приведены геолого-физические характеристики продуктивных горизонтов Западно-Лениногорской площади. Таблица составлена на основе собранных данных.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Муслимов Р.Х.* Влияние особенностей геологического строения на эффективность разработки Ромашкинского месторождения. — Казань: Изд. Казанского университета, 2007. [*Muslimov R.H.* Vlijanie osobennostej geologicheskogo stroenija na jeffektivnost' razrabotki Romashkinskogo mestorozhdenija. — Kazan': Izd. Kazanskogo universiteta, 2007.]
- [2] *Акишев И.М.* К вопросу о нефтях и природных битумах пермских отложений Татарской АССР // Труды ТатНИПИнефть. — Вып. 60. — Бугульма, 1987. — С. 74—77. [*Akishev I.M.* K voprosu o neftyah i prirodnyh bitumah permskih otlozhenij Tatarskoj ASSR // Tr./TatNIPineft'. Vyp. 60. — Bugul'ma, 1987. — S. 74—77.]
- [3] *Акишев И.М., Волков Ю.В., Гилязова Ф.С.* Запасы и ресурсы природных битумов Татарской АССР // Комплексное освоение природных битумов и высоковязких нефтей (извлечение и переработка) // Труды Всесоюз. конференции. — Казань: ТГЖИ, 1992. — С. 21—26. [*Akishev I.M., Volkov Ju.V., Giljazova F.S.* Zapasy i resursy prirodnyh bitumov Tatarskoj ASSR // Kompleksnoe osvoenie prirodnyh bitumov i vysokovjazkih neftej (izvlechenie i pere-rabotka): Tr. Vsesojuzn. konf. — Kazan': TGZhI, 1992. — S. 21—26.]
- [4] Анализ эффективности циклической закачки сшитых полимерных систем на участке Бурейкинского месторождения / Ш.К. Гаффаров, Р.Х. Мусабилов, В.Н. Абрамов и др. // Нефт. хоз-во. — 2004. — № 7. — С. 20—22. [Analiz jeffektivnosti ciklicheskoj zakachki sshityh polimernyh sistem na uchastke Burejkinskogo mestorozhdenija / Sh.K. Gaffarov, R.H. Musabirov, V.N. Abramov i dr. // Neft. hoz-vo. — 2004. — № 7. — S. 20—22.]
- [5] *Аширов К.Б.* Геологические условия образования твердых битумов // Тр. Гипровостокнефть. — Вып. 5. — М.: Гостоптехиздат, 2007. — С. 26—40. [*Ashirov K.B.* Geologicheskie uslovija obrazovanija tverdyh bitumov // Tr. Giprovostokneft'. — Vyp. 5. — M.: Gostoptehizdat, 2007. — S. 26—40.]
- [6] *Аширов К.Б.* Повышение ресурсов нефти в карбонатных коллекторах // Нефтегазовая геология и геофизика. — 1981. — № 2. — С. 20—24. [*Ashirov K.B.* Povyshenie resursov nefti v karbonatnyh kollektorah // Neftegazovaja geologija i geofizika. — 1981. — № 2. — S. 20—24.]
- [7] *Базив В.Ф.* О развитии технологий разработки трудноизвлекаемых запасов нефти // Нефт. хоз-во. — 2000. — № 6. — С. 41—42. [*Baziv V.F.* O razvitii tehnologij razrabotki trudnoizvlekaemyh zapasov nefti // Neft. hoz-vo. — 2000. — № 6. — S. 41—42.]
- [8] *Байбаков Н.К., Гарушев А.Р.* Тепловые методы разработки нефтяных месторождений. — М.: Недра, 2008. — 343 с. [*Bajbakov N.K., Garushev A.R.* Teplovyje metody razrabotki nef-tjanyh mestorozhdenij. — M.: Nedra, 2008. — 343 s.]
- [9] *Воронин В.П., Степанов В.П., Гольштейн Б.Л.* Геофизическое изучение кристаллического фундамента Татарии. — Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2002. — 206 с. [*Voronin V.P., Stepanov V.P., Gol'shtejn B.L.* Geofizicheskoe izuchenie kristallicheskogo fundamenta Tatarii. — Kazan': Izd-vo Kazan. un-ta, 2002. — 206 s.]
- [10] *Вахитов Г.Г., Морозов В.Д., Сафиуллин Р.Х.* Проблемы скважинной разработки месторождений высоковязких нефтей и природных битумов за рубежом: Обзор, информ. — М.: ВНИИОЭНГ, 1986. — 49 с. [*Vahitov G.G., Morozov V.D., Safiullin R.H.* Problemy skvazhinnoj razrabotki mestorozhdenij vysokovjazkih neftej i prirodnyh bitumov za rubezhom: Obzor, inform. Ser. Neftepromyslovoe delo. — M.: VNIIOJENG, 1986. — 49 s.]
- [11] *Викторин В.Д.* Влияние особенностей карбонатных коллекторов на эффективность разработки нефтяных залежей. — М.: Недра, 2008. — 150 с. [*Viktorin V.D.* Vlijanie osobennostej karbonatnyh kollektorov na jeffektivnost' razrabotki nef-tjanyh zalezhej. — M.: Nedra, 2008. — 150 s.]

**ON SOME LITHO-STRATIGRAPHIC
AND FIELD GEOLOGICAL CHARACTERISTICS
OF PRODUCTIVE HORIZONS WEST-LENINOGORSK AREA
TO THE ROMASHKINSKOYE DEPOSIT**

V.Yu. Abramov, P.N. Vlasov

Engineering faculty
Peoples' Friendship University of Russia
Ordgonikidze str., 3, Moscow, Russia, 117198

In this article we look at some lithologic — stratigraphic and geological — commercial characteristics of productive horizons one area of development, namely the West — Leninogorsk area Roamshkinskogo oilfield.

This information will be of interest to professionals involved in the development and research of this field.

Key words: Western-Leninogorsk area, litho-stratigraphic characteristics, geological and physical characteristics.

КРЕМНЕКИСЛЫЕ ВУЛКАНИТЫ ДЕВОНСКОЙ БАЗАЛЬТ-РИОЛИТОВОЙ ФОРМАЦИИ РУДНОГО АЛТАЯ

Л.К. Филатова¹, Е.И. Филатов²

¹Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

²Институт минералогии и геохимии редких элементов
ул. Вересаева, 15, Москва, Россия, 121357

Предложено объяснение контрастного внутреннего строения кремнекислых вулканитов базальт-риолитовой формации девона Рудного Алтая. Приведено обоснование принадлежности одного из типов риолитов к игнимбритам.

Ключевые слова: игнимбриты, кремнекислые вулканиты, газонасыщенные вулканиты, летучие компоненты.

Проведенный фациальный анализ образований рудоносной (базальт-риолитовой) формации среднего девона российской части Рудного Алтая позволил сделать некоторые выводы по истории формирования вулканических структур.

1. Кислые вулканические проявления характеризуются излияниями и экструзиями, вулканические аппараты чаще всего приурочены к ослабленным тектоническим зонам. Выделяются вулканогенный, осадочно-вулканогенный и вулканогенно-осадочный типы разрезов; экструзивная, жерловая, лавовая, пирокластическая, вулканогенно-осадочная и субвулканическая фации.

2. Экструзивные тела резко ограничены в плане, четко выражены в современном эрозионном рельефе. Излившиеся лавы в значительной мере обогащены летучими компонентами, слагают потоки игнимбритов и олигофировых риолитов, отходящие от купола. Синхронно с этим на склоне экструзива в локальной впадине происходит формирование ритмично-слоистой толщи вулканогенно-осадочных пород и пластовых залежей колчеданно-полиметаллических руд. С последующей активизацией вулканической деятельности связано поступление в выводной канал из магматической камеры новой порции вязкой магмы, закупорившей центральное жерло, и последующее выдавливание купола. Одновременно с этим в пределах всей впадины в условиях относительно мелководного открытого морского бассейна формируются перекрывающие (наджерловые) вулканогенно-осадочные толщи. Продукты основного вулканизма составляют 10% объема всех вулканогенных образований, определяют контрастность вулканизма базальт-риолитовой формации; характеризуются тесной ассоциацией с тонкообломочными терригенными углеродсодержащими породами, довольно типичной для геосинклинальных областей. К завершению формирования стратифицированных образований приурочено становление тел субвулканической фации, насыщающих весь разрез формации [12].

Петрографическая, петрохимическая и геохимическая характеристика рудовмещающих вулканитов формации достаточно убедительно свидетельствует о пра-

вомерности выделения среди них двух разновидностей, различных по степени газонасыщенности исходных расплавов: производных сухой и производных газонасыщенной магмы.

Кремнекислые вулканиды петрографически подразделяются на два типа: газонасыщенные и «сухие». Газонасыщенные кремнекислые вулканиды — производные флюидизированной магмы, характеризуются наличием двух генераций вкрапленников, высокой степенью порфировости (до 70%), наличием вкрапленников темноцветных минералов (биотит, моноклинный пироксен), признаками автобрекчирования фенокристаллов; хлоритизированным и серицитизированным вулканическим стеклом; текстурно-структурной неоднородностью; наличием структур и текстур, обусловленных ликвационными процессами [1] (пепловидная, эмульсионная и др.). Также для них типично присутствие в фенокристаллах кварца поздних генераций первично-магматических включений остаточных расплавов-рассолов. «Сухие» кремнекислые вулканиды представляют собой олигофировые разновидности риолитов, они обладают в основном одной генерацией вкрапленников светлоцветных минералов, низкой степенью порфировости (до 20%), криптозернистой кварц-полевошпатовой однородной основной массой, однообразием текстур и структур.

Газонасыщенные вулканиды являются продуктами остаточного расплава, обогащенного растворенными в нем летучими компонентами, ведущая роль среди которых принадлежит воде и фтору. Последние влияют на кристаллизацию последующих генераций вкрапленников и скорость их роста. Нередко поздние генерации образуются вокруг более ранних, на что указывает неодинаковая степень растворимости и различные микроструктурные особенности раннего и позднего кварца; присутствие в позднем кварце более низкотемпературных многофазовых первично-магматических включений ($T_{\text{гом}} 560\text{—}750\text{ }^{\circ}\text{C}$), наличие зональных кристаллов плагиоклаза.

Излившиеся на поверхность газонасыщенные вулканиды дополнительно расщепляются вследствие растворенных в расплаве флюидов, формируя вулканические тела игнимбритов (потоки и покровы), состоящие из обогащенных и обедненных флюидами участков и прослоев, что послужило причиной текстурно-структурной и минеральной неоднородности вулканидов, слагающих данные тела.

Игнимбритовый вулканизм носит черты подводных излияний, его продукты играют заметную роль в составе кремнекислых толщ.

Петро-геохимические особенности двух типов вулканидов проявлены в том, что:

— газонасыщенные и «сухие» вулканиды (олигофировые риолиты) обнаруживают различия в характере парных корреляционных связей породообразующих окислов, обусловленных главным образом присутствием в первых биотита и хлорита. Газонасыщенные вулканиды характеризуются повышенным содержанием FeO, MgO, широким спектром значений термодинамических показателей общей основности ($\Delta Z = 0,104\text{—}0,540$ ккал). «Сухие» вулканиды более постоянны в отношении этой характеристики ($\Delta Z = 0,295\text{—}0,332$ ккал);

— в газонасыщенных вулканитах наблюдаются повышенные концентрации фтора, а также сильные положительные корреляционные связи лития и фосфора. Для них типичен близкий характер корреляционных зависимостей щелочных элементов и фтора с гранитоидами верхнего девона. Наиболее четко указанные петрографические и петрохимические отличия вулканитов проявлены в породах лавовой и субвулканической фаций [10];

— вся совокупность кремнекислых вулканитов относится к породам известково-щелочной серии калий-натриевого ряда. Данные статистических распределений породообразующих окислов не обнаруживают никаких переломов, свидетельствующих о принадлежности этих групп к разным исходным магмам;

— кремнекислые вулканиты формации относятся к пересыщенным кремнеземом, обедненным кальцием, титаном, глиноземом (газонасыщенные — к тому же обогащены магнием и железом). По этим параметрам рассматриваемые вулканиты уступают недосыщенным этими окислами риолитам раннегеосинклинальных контрастных формаций колчеданоносных районов уральского типа. От них они также отличаются повышенным содержанием среди щелочей калия и пониженным натрия, что сближает их с риолитами краевых вулканических поясов [8].

Замечено, что *рудная минерализация обнаруживает пространственную приуроченность к площадям развития игнимбритов, характеризующихся повышенной степенью хлоритизации или серицитизации вулканического стекла*. Последняя связана с диагнетической аллохимической девитрификацией, происходящей в газонасыщенных перлитовых стеклах, восприимчивых к реакциям замещения, и отлична от изохимической девитрификации тонкокристаллических стекол, производных «сухой» вязкой магмы. На удалении от рудных объектов в аналогичных породах устанавливается «нормальный» девитрифицированный мелкокристаллический базис кварц-полевошпатового состава, что указывает на связь вулканических растворов, преобразовавших данные вулканиты, с рудным процессом.

Для объяснения формирования данных разновидностей пород наиболее убедительной является генетическая модель, предложенная А.А. Маракушевым [4] и рядом других исследователей. Согласно этой модели по мере нарастания вулканической активности и излияний первых порций вязкой высокотемпературной «сухой» магмы остаточный расплав обогащается летучими компонентами, ведущая роль среди которых принадлежит магмофильным компонентам. Растворенные в расплаве флюиды способствуют его охлаждению и увеличивают скорость роста кристаллов, которые часто достигают крупных размеров, причем, как следует из наших наблюдений, последующие генерации минералов нередко обрастают вокруг более ранних (высокотемпературных), что было установлено травлением кварца разных генераций газонасыщенных вулканитов. Неоднородность текстур и структур газонасыщенных вулканитов связывается нами вслед за Е.Б. Яковлевой [14] с неодинаковой обобщенностью флюидами их различных частей. Благодаря этому более вязкие участки и прослои вулканитов, обедненные летучими компонентами в процессе движения лавовых масс, разрываются, а места их разрывов заполняются более пластичными лавами. Последние образуют линзовидно-изогнутые обособления, представленные в настоящее время хлоритизированным

перлитом. Данные образования мы рассматриваем как фьямме, а содержащие их вулканиты — как игнимбриты. При окончательном отделении флюида из расплава, как указывает Е.Б. Яковлева [14], происходит формирование пепловидных структур базиса, а также растрескивание хрупких минералов (кварц) и скручивание упругих (биотит), что широко проявлено в изучаемых нами вулканитах.

Впервые породы подобного типа — *итальянские типерно* — в начале IX в. были рассмотрены Бухом (1809), указавшим на пламенеvidные включения в этих породах, часто взаимно параллельных. Как самостоятельный генетический тип они были описаны Абигом (1882) и названы им *туфолавами* Армении. Термин «игнимбриты» укоренился за ними после выхода работ П. Маршалла (1932, 1935), изучавшего кремнекислые образования Новой Зеландии.

Игнимбриты имеют очень широкое распространение на всем земном шаре (в Новой Зеландии, на Суматре, в Японии, на Камчатке, в Армении, Средней Азии, Центральном Казахстане и др.). А. Стейнер, изучавший те же породы, что и П. Маршалл, установил, что основная масса в них состоит из двух различных по показателю преломления (и следовательно, составу) стекол, предложил несмешимость расплава, тем самым устранив противоречие между особенностью их структур и геологическим (подводным, иногда интрузивным) залеганием пород [6]. Стейнер предложил оставить термин «игнимбрит» как описательный, а не как генетический.

В последние десятилетия произошел новый скачок в решении генетической природы этих образований. За рубежом американские ученые Р. Смит, К. Росс, Ф. Бойд, Х. Раст и др. развивают точку зрения о переливающейся через края кратера вулкана вспенившейся газовой-пирокластической смеси, которая, обладая высокой подвижностью, способна перемещаться на большие расстояния от центра извержения. В Советском Союзе И.В. Лучицкий, Е.Ф. Малеев, А.А. Маракушев, Е.Б. Яковлева, Н.В. Короновский, В.В. Авдонин и др. пришли к выводу о двойственной природе игнимбритов. Так, исследованиям этих геологов было показано, что современные туфы и пеплы, выпадающие при извержениях, не обнаруживают признаков сваривания остроугольных частичек вулканического стекла, хотя мощность их нередко превышает сотни метров, т.е., игнимбриты не установлены ни в одном из современных риолитовых излияний. Единственные игнимбриты, сформированные в историческое время (вулкан Катмаи — извержение 1912 г.), наблюдались Григгсом и Феннером лишь спустя пять лет (в 1917 г.) в виде конечного затвердевшего продукта, о механизме формирования которого высказывались на первых порах самые различные предположения. Было обнаружено, что размер фьямме и размер вкрапленников не «реагируют» на удаленность от центров вулканических извержений. С другой стороны, пепловые частицы часто параллельны флюидалности, чего никогда не отмечается в пирокластических породах. Отмечается близость структур и текстур маломощных потоков и мощных покровов. В областях древнего вулканизма установлены игнимбритовые покровы, накапливающиеся в подводных условиях [14].

В номенклатуре и систематике этих образований в течение длительного времени происходили большие колебания, так, для них разными исследователями

употреблялись различные синонимы: пиротурбиты (раскаленный поток), игни-пумиты (огненная пемза), флюидпорфиры (жидкая кислая лава), гиалокластиты (обломочные, раздробленные стекла), спекшийся туф, артиктуф (по названию горы в Армении), итальянские пиперно и т.д. Обсидианы Йеллоустонского национального парка — один их типовых природных эталонов туфолов, изучавшихся Иддингсом (1889), он первый применил термин «сваренная пемза» и развил общие представления о сваривании пирокластики.

П.Б. Иншин (1972) — на Алтае, Е.Б. Яковлева — в Центральном Казахстане (1967), А.С. Бобохов — на Урале [2] впервые выделили слепые тела игнимбритов с пепловидной структурой основной массы, что свидетельствует о различиях фациальных обстановок при формировании газонасыщенных вулканитов и полностью согласуется с нашими данными.

Зрелая континентальная кора, на которой была сформирована герцинская геосинклинальная система Юго-Западного Алтая, определила проявление островодужных комплексов, заложившихся в верхнем эйфеле [8] и обусловила появление игнимбритового магматизма. Последний носит черты подводных излияний и играет заметную роль в составе кремнекислых толщ девонской базальт-риолитовой формации, но не подавляющую, как это установлено для орогенных областей или для областей, связанных с активизацией платформенных участков земной коры и в пределах которых игнимбритовый магматизм проявлен в форме наземных извержений [5].

Продукты основного и кислого вулканизма фиксируются на различных стратиграфических уровнях в пределах всей девонской базальт-риолитовой формации Рудного Алтая [3]. Неоднократно в разрезе отмечаются туфы смешанного состава, пирокластический материал которых представлен как кремнекислыми, так и основными эффузивами. Присутствие последних свидетельствует о тесном взаимодействии процессов кислого и основного вулканизма. Некоторые родственные петро- и геохимические черты, свойственные как основным, так и кислым породам (в частности, содержание элементов-примесей, отношение калия к рубидию и др.), свидетельствуют о том, что роль базальтовой магмы при образовании кислых пород была не только энергетической. По-видимому, в верхние горизонты земной коры по наиболее проницаемым участкам из базальтовых очагов устремлялась базальтовая магма, которая местами непосредственно смешивалась с выплавленным кислым материалом. Так, по мнению В.С. Соболева (1981), смешение магм, поступающих из различных очагов по одним и тем же каналам, является достаточно обычным явлением. На рудном поле продуктами смешения различных по составу магм, вероятно, являются обособления обломковидной и овальной формы, наблюдаемые в основных эффузивах и имеющие, состав близкий к андезитам.

В настоящее время большинство исследователей Рудного Алтая отмечают генетическую общность процессов девонского вулканизма и полиметаллически-колчеданного оруденения. Подтверждением такой общности является установленный для всех месторождений Рудного Алтая четкий формационный контроль размещения оруденения; зависимость минерального состава руд от петрохимических

особенностей рудовмещающих вулканитов эйфель-франской контрастной формации [7; 8]; стратиграфический и литолого-фациальный контроль; приуроченность рудных залежей к отдельным элементам вулканических структур и другие [9]. На широкое развитие руд, синхронных осадочной седиментации, указывают такие данные, как пластовая форма рудных тел; широкое развитие в рудах группы седиментационных структур и текстур, наиболее полно для месторождений Змеиногорского района охарактеризованные В.В. Кузнецовым (1983) и В.М. Чекалиным (1985); широкое развитие гидротермально-осадочных околорудных пород, рассмотренных В.В. Авдониным (1980); скрытая минералого-геохимическая зональность по мощности рудных тел (по В.И. Смирнову и Н.И. Еремину, 1976).

С газонасыщенными вулканитами субвулканической фации ассоциируют гидротермально-метасоматические непромышленные вкрапленные руды, локализуемые в пределах субвулканических тел или в местах их выклинивания [7]. Отложения, вмещающие промышленные залежи, рассматриваются нами как наджерловые образования вулканогенно-осадочных пород, они несут следы накопления в морских мелководных условиях с нормальной соленостью морского бассейна, формирование их приурочено к моментам затухания активной вулканической деятельности и активизации гидротермальной. Последняя является гораздо более продолжительной, нежели активная деятельность вулкана, предшествует ей и завершает ее (Раст, 1982; Макдональд, 1976; Лучицкий, 1971 и др.). Именно это, вероятно, и вызвало проработку пород рудной зоны (лежащий бок) и послужило причиной диагенетической избирательной аллохимической девитрификации («аддитивной» по В.И. Чернову [13]) кислых газонасыщенных стекол, проявившейся в хлоритизации и серицитизации. Подобный тип девитрификации установлен нами на Корбалихинском рудном поле, а также наблюдался на различных месторождениях Рудного Алтая (Рубцовское, Золотушинское, Лениногорское, Зырянское). На удалении от рудных объектов в аналогичных породах отмечается «нормальный» изохимический тип девитрификации с преобразованием кислых газонасыщенных стекол в мелкокристаллический агрегат, чаще всего фельзитовой структуры [9].

В газонасыщенных вулканитах во вкрапленниках кварца автором установлены многофазовые первично-магматические включения остаточных расплавов-расплавов ($T_{\text{гом}}$ — 560—650 °С), содержащие в твердой фазе хлориды натрия и калия, а также черно-бурую родную фазу. Последняя, вероятно, представляет собой экстрагированное рудное вещество, содержащееся в водно-солевом хлоридном флюиде. Аналогичные компоненты имеют место в более поздних гидротермальных газозо-жидких включениях (ГЖВ) с твердой фазой ($T_{\text{гом}}$ — 400 °С). Подобные ГЖВ могут рассматриваться в качестве продукта эволюции эндогенного флюида (Костина, Шарфман, 1977) и образуются, как это показал А.А. Маракушев [5], в конечные этапы кристаллизации силикатного расплава при относительно малых глубинах (4—5 км), отвечающих уровню промежуточного магматического очага. В работе Г. Тейлора (1976) показано, что подобные богатые хлоридами растворы приближаются по составу к минерализованным. Содержание цветных и благород-

ных металлов в них будет зависеть от температуры и режима Eh и ph , а также от наличия металлов в нижележащих породах.

На основании изложенного возможно предположить рудогенерирующую роль газонасыщенной магмы, послужившей источником рудоносных постмагматических растворов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Авдонин В.В., Дороговин Б.А., Округин В.М. Признаки ликвации в среднедевонских вулканогенных породах (Ленингорский район, Рудный Алтай) // Вест. МГУ. — 1975. — № 6. — С. 70—74. [Avdonin V.V., Dorogovin B.A., Okrugin V.M. Priznaki likvatsii v sredne-devonskikh vulkanogennykh porodakh (Leninogorskij rajon, Rudnyj Altaj) // Vest. MGU. — 1975. — № 6. — S. 70—74.]
- [2] Бобохов А.С. О конкреционных обособлениях кварцевых альбитофиров // Бюл. МОИП, отд. геол. — 1968. — № 1. — С. 36—43 [Bobokhov A.S. O konkretionnykh obosobleniyakh kvartsevykh al'bitofirov // Byul. MOIP, otd. geol. — 1968. — № 1. — S. 36—43.]
- [3] Караулов В.Б., Филатова Л.К., Никитина М.И. Девонские геологические формации Змеиногорского рудного района (Рудный Алтай) // Известия ВУЗов, Геология и разведка. — 1997. — № 2. [Karaulov V.B., Filatova L.K., Nikitina M.I. Devonskie geologicheskie formatsii Zmeinogorskogo rudnogo rajona (Rudnyj Altaj) // Izvestiya VUZov, Geologiya i razvedka. — 1997. — № 2.]
- [4] Маракушев А.А., Яковлева Е.Б. Генезис кислых лав // Вестн. МГУ, геология. — 1975. — № 1. — С. 3—23. [Marakushev A.A., Yakovleva E.B. Genезis kislых lav // Vestn. MGU, geologiya. — 1975. — № 1. — S. 3—23.]
- [5] Маракушев А.А., Маракушев С.А. Происхождение и флюидная эволюция Земли // Пространство и Время. — 2010. — № 1. С. 98—118. [Marakushev A.A., Marakushev S.A. Proiskhozhdenie i flyuidnaya ehvolyutsiya Zemli // Prostranstvo i Vremya. — 2010. — № 1. — S. 98—118.]
- [6] Стейнер А. Происхождение игнимбритов острова Северный, Новая Зеландия (новая петрографическая концепция) // Проблемы палеовулканизма. — М.: ИЛ, 1963. — 273 с. [Stejner A. Proiskhozhdenie ignimbritov ostrova Severnyj, Novaya Zelandiya (novaya petrograficheskaya kontseptsiya) // Problemy paleovulkanizma. — M.: IL, 1963. — 273 s.]
- [7] Филатов Е.И., Пугачева И.П., Крейтер И.В., Кузнецов В.В., Филатова Л.К. Геологические условия размещения колчеданно-полиметаллического оруденения в Змеиногорском рудном районе (Рудный Алтай) // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. — 1981. — № 4. — С. 78—83. [Filatov E.I., Pugacheva I.P., Krejter I.V., Kuznetsov V.V., Filatova L.K. Geologicheskie usloviya razmeshheniya kolchedanno-polimetallicheskogo orudneniya v Zmeinogorskom rudnom rajone (Rudnyj Altaj) // Izv. VUZov Geologiya i razvedka. — 1981. — № 4. — S. 78—83.]
- [8] Филатов Е.И., Ширай Е.П. Формационный анализ рудных месторождений. — М.: Недра, 1988. — 144 с. [Filatov E.I., SHiraj E.P. Formatsionnyj analiz rudnykh mestorozhdenij. — M.: Nedra, 1988. — 144 s.]
- [9] Филатова Л.К. Фациальные особенности вулканидов, вмещающих скрытые колчеданно-полиметаллические залежи Корбалхинского рудного поля (Рудный Алтай) // Тр. ЦНИГРИ. — Вып. 186. — М., 1983. — С. 43—48. [Filatova L.K. Fatsial'nye osobennosti vulkanitov, vmeshhayushhikh skrytye kolchedanno-polimetallicheskie zalezhi Korbalkhinskogo rudnogo polya (Rudnyj Altaj) // Tr. TSNIGRI. — Вып. 186. — М., 1983. — S. 43—48.]
- [10] Филатова Л.К., Караулов В.Б., Никитина М.И. О возрастных соотношениях различных типов порфиров Юго-Западного Алтая (Змеиногорский район) // Известия ВУЗов. Геология и разведка. — 2002. — № 3. [Filatova L.K., Karaulov V.B. Nikitina M.I. O vozrastnykh

- sootnosheniyakh razlichnykh tipov porfirov YUgo-Zapadnogo Altaya (Zmeinogorskiy rajon) // Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka. — 2002. — № 3.]
- [11] *Филатова Л.К.* Петрологический анализ девонских вулканоплутонических ассоциаций колчеданосных формаций Российской части Рудного Алтая // *Материалы Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле»*. — Т. 1. — М., 2005. [*Filatova L.K.* Petrologicheskij analiz devonskikh vulkano-plutonicheskikh assotsiatsij kolchedanosnykh formatsij Rossijskoj chasti Rudnogo Altaya // *Materialy Mezhdunarodnoj konferentsii «Novye idei v nauках o Zemle»*. — Т. 1. — М., 2005.]
- [12] *Филатова Л.К.* Некоторые особенности палеозойских риолитов, производных флюидизированной магмы (на примере северо-западной части Рудного Алтая) // *Материалы Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле»*. — Т. 1. — М., 2011. — С. 55. [*Filatova L.K.* Nekotorye osobennosti paleozojskikh riolitov, proizvodnykh flyuidizirovannoj magmy (na primere severo-zapadnoj chasti Rudnogo Altaya) // *Materialy Mezhdunarodnoj konferentsii «Novye idei v nauках o Zemle»*. — Т. 1. — М., 2011. — S. 55.]
- [13] *Чернов В.И.* Вулканогенные формации и порфиоровые интрузии Рудного Алтая. — М.: Наука, 1974. — 242 с. [*CHernov V.I.* Vulkanogennye formatsii i porfirovye intruzii Rudnogo Altaya. — М.: Nauka, 1974. — 242 s.]
- [14] *Яковлева Е.Б.* Некоторые особенности кристаллизации магматических пород кремнекислого состава // *Бюл. МОИП*. — 1979. — Т. 54. — № 2. [*Yakovleva E.B.* Nekotorye osobennosti kristallizatsii magmaticheskikh porod kremnekislogo sostava // *Byul. MOIP*. — 1979. — Т. 54. — № 2.]

ACID VOLCANIC ROCKS OF DEVONIAN BASALT-RHYOLITE FORMATION OF RUDNY ALTAI, THEIR FACIES AND PETROGENESIS

L.K. Filatova¹, E.I. Filatov²

Peoples' Friendship University of Russia
Mirluho-Maklay str., 6, Moscow, Russia, 117198

Institute of Mineralogy, Geochemistry and crystal chemistry of rare
Veresaev str., 15, Moscow, Russia, 121357

An explanation of internal contrast structure of silicate volcanic rocks of basalt-rhyolite formation of Rudny Altai. There is a substantiation of a type of rhyolite belonging to ignimbrites.

Key words: silicate volcanic rocks, ignimbrites, acid volcanic rocks, gas-saturated volcanic rocks, volatile components.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗОТОПНОГО (U/Pb) ДАТИРОВАНИЯ ОБЛОМОЧНЫХ (ДЕТРИТНЫХ) ЦИРКОНОВ ИЗ ПЕСЧАНИКОВ АЛМАЗОНОСНОЙ ЭМСКОЙ (НИЖНИЙ ДЕВОН) ТАКАТИНСКОЙ СВИТЫ ЗАПАДНОГО УРАЛА*

Е.С. Пыжова, Н.С. Попова

Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В статье представлены результаты U/Pb (LA-ICP-MS) датирования обломочных цирконов из кварцевых песчаников девонской такатинской свиты. Полученные возрасты охватывают диапазон от $1857,5 \pm 53,8$ до $3054,0 \pm 48,0$ млн лет. Зафиксирован чрезвычайно большой «зазор» (~1,5 млрд лет) между временем формирования такатинской свиты и возрастом самого молодого циркона. Сопоставление возрастов известных кристаллических комплексов ВЕП с полученным спектром возрастов цирконов из такатинской свиты свидетельствует о Волго-Уральском происхождении цирконов. Это подразумевает существование неизвестного ранее этапа кимберлитообразования, заметно более древнего, чем этап, обусловивший алмазность Архангельской и Тиманской провинций.

Ключевые слова: такатинская свита, обломочные цирконы, Урал, Волго-Уралия.

Западный Урал — алмазносный регион. В его пределах в бассейне р. Вишера (левый приток р. Камы, Красновишерский район Пермского края) расположена Вишерская группа месторождений. Существует несколько концепций, объясняющих алмазность западного Урала в целом и его Красновишерской части в частности [3; 8; 9]. По одной из версий предполагается, что в «молодые» россыпи алмазы попали из размываемых древних россыпей, вмещающими породами для которых являются колчимская свита нижнего силура и такатинская свита верхов эмского яруса нижнего девона. При этом допускается, что в эти древние россыпи (во вторичные коллекторы) алмазы могли попасть из разрушающихся кимберлитовых тел, расположенных в пределах Восточно-Европейской платформы (ВЕП) [10—12] (рис. 1, трасса Т1) или на Урале [1] (рис. 1, трасса Т2).

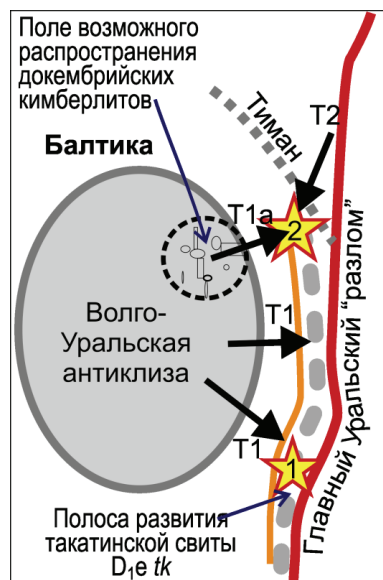


Рис. 1. Принципиальная схема взаимоотношения пограничных структур ВЕП и Урала

* Работа проведена при поддержке РФФИ (грант 12-05-01063а), а также Программы поддержки молодых ученых ГИН РАН.

Если палеозойские породы Западного Урала действительно являются вторичными коллекторами алмазов, то встает вопрос об их Уральском или Восточно-Европейском происхождении. Чтобы выяснить это, нужно ответить на вопрос: за счет накопления продуктов разрушения каких комплексов сформировались палеозойские толщи Западного Урала — комплексов, распространенных в более восточных районах Урала, или комплексов, распространенных в более западных районах, т.е. в пределах Восточно-Европейской платформы?

Известно, что верхнеэмская (верхи нижнего девона) такатинская свита распространена вдоль всего западного склона Южного, Среднего и Северного Урала (см. рис. 1). Стратотип такатинской свиты находится в Башкирской части западного склона Южного Урала, около с. Такаты (запад Башкирского поднятия). На протяжении всей полосы своего распространения такатинская свита залегает с размывом и параллельным (иногда географическим) несогласием в основании на более древних палеозойских или позднедевонских толщах и согласно перекрыта глинисто-карбонатными или карбонатными образованиями, слагающими практически непрерывную стратиграфическую последовательность от среднего девона до нижней перми. Свита сложена преимущественно мономиктовыми или олигомиктовыми существенно кварцевыми песчаниками и по простиранию ее литологический состав существенно не меняется. Литологический анализ отобранных образцов показал, что это преимущественно крупнозернистые песчаники со средней окатанностью и сортировкой зерен (рис. 2). Цемент в породе — кварцевый регенерационного типа, поровый карбонатно-глинистый и вдавливания. Изучение песчаников такатинской свиты показало, что они формировались в водной и наиболее вероятно достаточно мелководной обстановке.

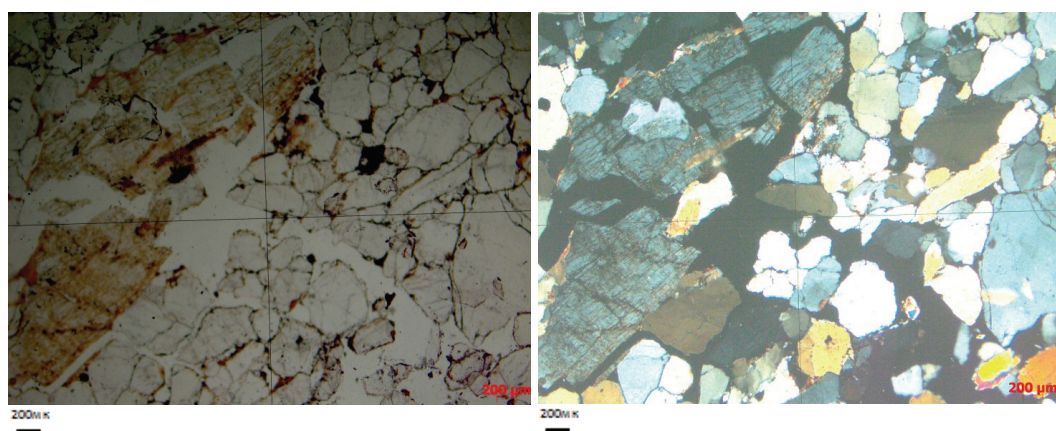


Рис. 2. Микрофотографии песчаников такатинской свиты (проба 09-025). Слева — николи параллельны, справа — николи скрещены

Выдержанность строения такатинской свиты и однообразие ее литологического состава вдоль всего западного склона Южного, Среднего и Северного Урала может означать, что условия формирования и питающая провинция для слагающих

такатинскую свиту песчаников были одинаковые вдоль всего простирания полосы ее развития. Таким образом, если ответить на сформулированный выше вопрос хотя бы в пределах одного из участков развития такатинской свиты, выводы можно распространить на всю полосу ее развития. Для этого мы провели изучение песчаников такатинской свиты в ее стратотипической местности в месте слияния р. Сиказа и руч. Куккараук на западном склоне Башкирского поднятия (см. рис. 1, звезда 1, координаты точки отбора пробы 09-025 — 53°36'41" с.ш., 56°39'28" в.д.).

Проба начальным весом около 1,5 кг была измельчена вручную в чугунной ступке. Измельченный материал был отмыт в проточной воде и просушен. Просушенный материал был разделен в бромформе ($>2,89$ г/см³). Из полученного таким образом цирконсодержащего концентрата тяжелых минералов в Стэнфордском университете (Калифорния, США) с применением тяжелой жидкости MI выделена монофракция циркона. Зерна циркона случайным образом были интегрированы в эпоксидную шашку. После этого было выполнено их U/Pb изотопное датирование методом LA-ICP-MS в Университете штата Флорида (США). Детали аналитической методики изложены в работе [14]. Всего было датировано 50 зерен. Из них результаты анализа шести зерен были отброшены из-за того, что величина модуля дискордантности $[D = 100 \cdot (Age^{206/208} / Age^{207/206} - 1)]$ определения возраста этих зерен оказалась более 10%. Возрасты оставшихся 44 зерен попадают в интервал от $1857,5 \pm 53,8$ до $3054,0 \pm 48,0$ млн лет (рис. 3).

В девонское время территория западного Урала представляла собой окраину обширного композитного континента Аркт-Лавруссия [4; 5], в состав которого входили разновозрастные коровые блоки: и архейские протократоны (Волго-Уралия, Сарматия, Кола, Карелия и др.), и протерозойские орогены, сутурировавшие протократоны (Волго-Сарматский, Средне-Русско-Волынский, Кола-Лапландский и др.), и более молодые мезопротерозойские и палеозойские орогены (Свеко-Норвежский, Протоуральско-Тиманский, Скандинавско-Гренландский и др.), а также разновозрастные кристаллические комплексы, образовавшиеся в результате внутриплитных тектоно-магматических процессов (граниты рапакиви, Коростеньский и др. плутоны, Волынский вулканический комплекс и др.). Все эти разновозрастные комплексы разрушались/размывались, а продукты эрозии разносились по разным направлениям и аккумуляровались на окраинах континента и во внутриконтинентальных бассейнах. В том числе на Уральской окраине Аркт-Лавруссии в раннем девоне накопились такатинские песчаники (см. рис. 1, трасса T1). Однако в такатинских песчаниках нами установлены детритные цирконы только с возрастными древнее $1857,5 \pm 53,8$ млн лет. Продукты разрушения более молодых пород отсутствуют.

Сопоставляя полученные возрасты детритных цирконов из такатинской свиты с известными возрастными кристаллических комплексов фундамента ВЕП [13] (рис. 3, верхняя часть), мы пришли к выводу о том, что источником детрита для такатинской свиты наиболее вероятно была только Волго-Уральская часть ВЕП [4], которая располагается к западу от ареала распространения такатинской свиты [2].

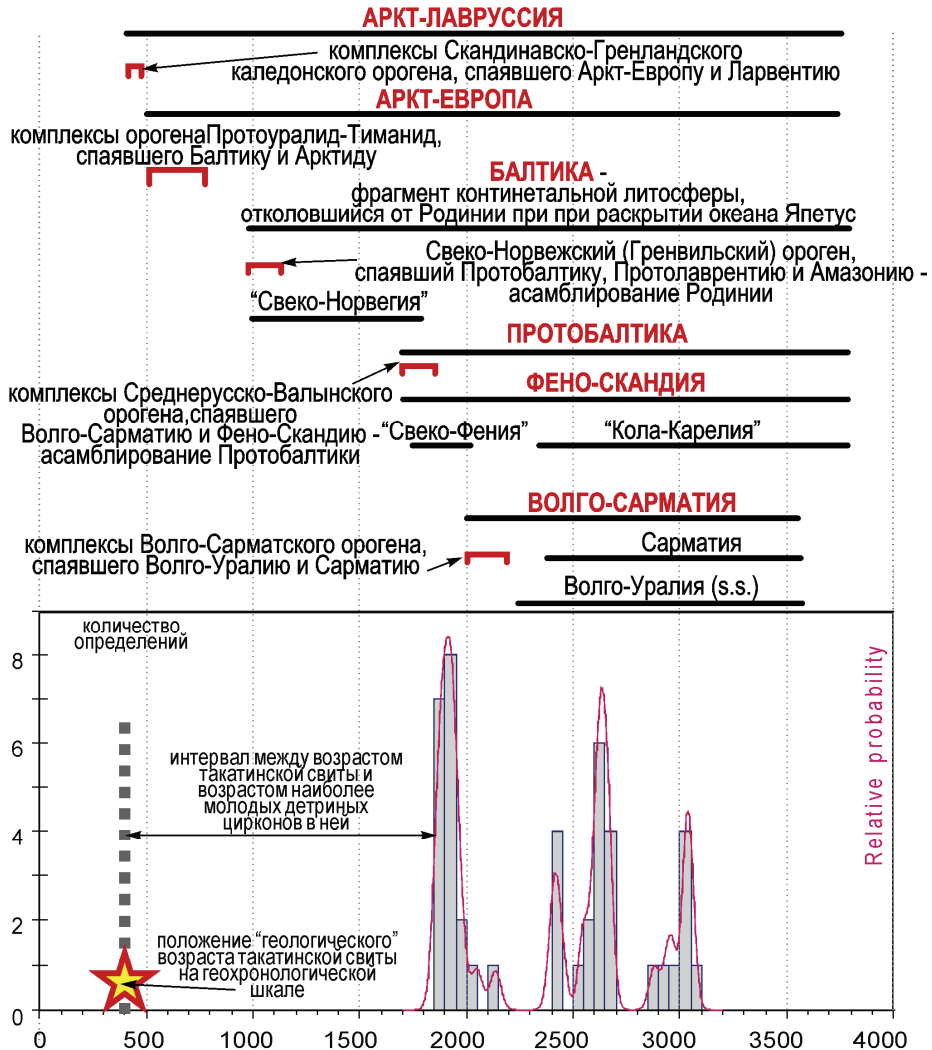


Рис. 3. Сопоставление возрастов детритных цирконов из песчаников такатинской свиты и возрастов основных тектоно-магматических событий, записанных в комплексах ВЕП и некоторых позднедокембрийских структур ее обрамления:

внизу — результаты датирования (гистограмма — серые столбики и график плотности вероятности — линия) детритных цирконов из песчаников такатинской свиты (внизу);
 вверху — интервалы возрастов кристаллических комплексов древних блоков (полосы) и их названия (текст — названия блоков и комплексов, текст, набранный заглавными буквами — композитные блоки) и спявших их орогенов (линии с полуштрихами на концах);
 мегаблоки: «Кола-Карелия» — Кольско-Карельский, «Свеко-Фения» — Свеко-Фенский, «Свеко-Норвегия» — Свеко-Норвежский

В современном строении Волго-Уральской части ВЕП выделяются несколько крупных сводовых поднятий фундамента, в пределах которых (центральная часть Волго-Уральской антиклизы) разрез платформенного чехла начинается с франских отложений, залегающих с ярко выраженным несогласием на глубоко эродированных архейско-раннепротерозойских кристаллических комплексах фундамента. Это находится в хорошем соответствии с представлениями о том, что в раннем девоне Волго-Уральская часть ВЕП представляла собой высоко стоящую сушу [15], кото-

рая служила непреодолимым препятствием для попадания на Уральскую окраину Аркт-Лавруссии продуктов размыва из других ее частей, которые бы неизбежно привнесли с собой цирконы с возрастными, моложе 1,8 млрд лет.

Если допустить, что алмазность Западного Урала полностью или хотя бы частично связана с вторичными коллекторами из такатинской свиты, то из полученных нами результатов можно сделать важное заключение, касающееся коренных источников западноуральских алмазов.

1. Схожесть возрастов детритных цирконов из такатинской свиты с возрастными древних кристаллических комплексов Волго-Уральской части ВЕП и отсутствие молодых цирконов означает, что именно Волго-Уральская часть ВЕП (см. рис. 3) была поставщиком обломочного материала, из которого сложены песчаники такатинской свиты.

2. Если исходить из того, что осадочный бассейн, в котором накапливались кварцевые песчаники такатинской свиты, «питался» продуктами размыва Волго-Уральской части Аркт-Лавруссии, то можно считать, что участвующие в строении этой свиты промежуточные коллекторы алмазов обязаны своим происхождением переотложению продуктов разрушения первичных (кристаллических) алмазных пород (кимберлитов, лампроитов и т.п.), участвовавших/участвующих в строении Волго-Уралии. С учетом эмского (конец раннего девона) возраста такатинской свиты это означает, что в пределах фундамента ВЕП (и наиболее вероятно в его Волго-Уральской части) можно ожидать в будущем обнаружение (выявление) неизвестного ранее этапа кимберлитообразования, заметно более древнего, чем этап, обусловивший алмазность Архангельской и Тиманской провинций.

3. Исходя из того, что промышленная алмазность такатинской свиты установлена только в Красновишерском районе (т.е. в северной части полосы развития (см. рис. 1, звезда 2), можно предполагать, что кимберлитовые тела, которые могли послужить первичным источником алмазов, располагаются в северо-восточной части Волго-Уралии, откуда алмазы и поступали в бассейн осадконакопления (см. рис. 1, трасса Г1а).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Анфилогов В.Н., Крайнев Ю.Д., Кораблев Г.Г. Геологическое строение и природа алмазности колчимского поднятия (Северный Урал) // Литосфера. — 2007. — № 5. — С. 151—163. [Anfilogov V.N., Krajev Yu.D., Korablev G.G. Geologicheskoe stroenie i priroda amazonosnosti kolchimskogo podnyatiya (Severnyj Ural) // Litosfera. — 2007. — № 5. — S. 151—163.]
- [2] Бронгулеев В.В. Карты мощности осадочного чехла Восточно-Европейской платформы (верхний протерозой). Масштаб 1 : 5 000 000. — М.: Изд-во МГУ, 1981. [Bronguleev V.V. (gl. red.) Karty moshhnosti osadochnogo chexla vostochno-evropejskoj platformy (verxnij proterozoj). masshtab 1 : 5 000 000. — M.: Izd-vo MGU, 1981.]
- [3] Каменцев Л.И. Импактные структуры Северо-Уральского региона и происхождение россыпных алмазов. Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента. — Сыктывкар: Геопринт, 2000. [Kamencev L.I. Impaktnye struktury Severo-Uralskogo regiona i proisxozhdenie rossypnyxalmazov. Struktura, veshhestvo, istoriya litosfery Timano-Severouralskogo segmenta. — Syktyvkar: Geoprint, 2000. — S. 62—63.]

- [4] Кузнецов Н.Б. Кембрийская коллизия Балтики и Арктиды — начальный этап «собирания» северной части позднепалеозойско-раннемезозойской Пангеи // Бюллетень МОИП. Отд. геологич. — 2009. — Т. 84. — Вып. 1. — С. 18—38. [*Kuznetsov N.B. Kembrijskaya kolliziya Baltiki i Arktidy — nachalnyj etap «sibiraniya» severnoj chasti pozdnepaleozojsko-rannemezo-zojskoj Pangei // Byulleten MOIP. Otd. geologich. — 2009. — T. 84. — Vyp. 1. — S. 18—38.*]
- [5] Кузнецов Н.Б. Комплексы протоуралид-тиманид и позднекембрийско-раннепалеозойская эволюция восточного и северо-восточного обрамления Восточно-Европейской платформы: Автореф. дисс. ... д-ра г.-м. наук. — М.: ИФЗ РАН, 2009. — 49 с. [*Kuznetsov N.B. Kompleksy protouralid-timanid i pozdnedokembrijsko-rannepaleozojskaya evolyuciya vostochnogo i severo-vostochnogo obramleniya vostochno-evropejskoj platformy: avtoref. diss. ... doktora geologo-mineralogicheskix nauk. — Moskva, IFZ RAN, 2009. — 49 s.*]
- [6] Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Шаццлло А.В., Орлов С.Ю., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н., Серегина Е.С., Иванова Н.С., Меерт Дж. Первые результаты датирования детритных цирконов из среднепалеозойских песчаников такатинской свиты запада Южного Урал // ДАН. — 2014. — Том 455. — № 4. — С. 427—432. [*Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V., Shacillo A.V., Orlov S.Yu., Gorozhanin V.M., Gorozhanina E.N., Seregina E.S., Ivanova N.S., Meert Dzh. Pervye rezultaty datirovaniya detritnyx cirkonov iz srednepaleozojskix peschanikov takatinskoj svity zapada Yuzhnogo Ural // DAN. — 2014. — Tom 455. — № 4. — S. 427—432.*]
- [7] Пыжова Е.С. Обломочные цирконы из позднекембрийских и палеозойских песчаников Западного Урала — анализ источников сноса (палеогеографический и палеотектонический аспекты). — М., 2014. [*Pyzhova E.S. Oblomochnye cirkony iz pozdnedokembrijskix i paleozojskix peschanikov Zapadnogo Urala — analiz istochnikov snosa (paleogeograficheskij i paleotektonicheskij aspekty). — M., 2014.*]
- [8] Рыбальченко А.Я., Рыбальченко Т.М., Силаев В.И. Комментарии к некоторым традиционным заблуждениям в генетических оценках алмазных месторождений уральского типа в Урало-Тиманском регионе // Труды ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2011. [*Rybalchenko A.Ya., Rybalchenko T.M., Silaev V.I. Kommentarii k nekotorym tradicionnym zabluzhdeniyam v geneticheskix ocenках алмазных месторождений уральского типа в Урало-Тиманском регионе // Trudy IG Komi NC UrO RAN, 2011.*]
- [9] Рыбальченко Т.М. Петрографическая характеристика алмазоносных магматитов Полюдова Кряжа // Вестник Пермского ун-та. Геология. — 1997. — Вып. 4. — С. 43—52. [*Rybalchenko T.M. Petrograficheskaya charakteristika алмазоносных магматитов Polyudova Kryazha // Vestnik Permskogo un-ta. Geologiya. — 1997. — Vyp. 4. — S. 43—52.*]
- [10] Смирнов Ю.Д. Источники алмазов уральских россыпей // Геология россыпей. — Л.: Наука, 1965. — С. 279—282. [*Smirnov Yu.D. Istochniki алмазов уральских россыпей // Geologiya rossypej. — L.: Nauka, 1965. — S. 279—282.*]
- [11] Соколов Б.Н. Образование россыпей алмазов. — М.: Наука, 1982. — 93 с. [*Sokolov B.N. Obrazovanie rossypej алмазов. — M.: Nauka, 1982. — 93 s.*]
- [12] Щербakov О.А., Дурникин В.И., Соколов О.В. и др. Такатинская свита Вишерско-Чусовского Урала и ее алмазоносность. — Пермь: ПГУ, 1994. — 105 с. [*Shherbakov O.A., Durnikin V.I., Sokolov O.V. i dr. Takatinskaya svita Vishersko-Chusovskogo Urala i ee алмазоносность. — Perm: PGU, 1994. — 105 s.*]
- [13] Bogdanova S.V., Bingen B., Gorbatshev R. et al. The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia // *Precambrian Research*. — 2008. — V. 160. — P. 23—45.
- [14] Kuznetsov N.B., Meert J.G., Romanyuk T.V. Ages of the detrital Zircons (U/Pb, La-ICP-MS) from Latest Neoproterozoic — Middle Cambrian(?) Asha Group and Early Devonian Takaty Formation, the South-Western Urals: a Testing of an Australia-Baltica Connection within the Rodinia // *Precambrian Research*. — 2014. — V. 244. — P. 288—305.
- [15] Nikishin A.M., Ziegler P.A., Stephenson R.A. et al. Late Precambrian to Triassic history of the East European Craton: dynamics of sedimentary basin evolution. *Tectonophysics*. 1996. 268. p. 23—63.

U/PB AGE OF DETRITAL ZIRCONS FROM SANDSTONES OF THE UPPER EMSIAN DIAMOND TAKATY FORMATION OF THE WESTERN URALS

E.S. Pyzhova, N.S. Popova

Engineering faculty
Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

The first results of U/Pb (LA-ICP-MS) dating of detrital zircons from quartz sandstones of the Devonian Takaty Formation are presented. The obtained ages span a range from 1857.5 ± 53.8 to 3054.0 ± 48.0 Ma. The vast «gap» (~1.5 Ga) between sedimentary age of Takaty Formation and the age of the youngest zircon grain is fixed. A comparison of known ages of crystalline complexes from the Volga-Uralian part of East-European Platform with obtained ages of detrital zircons from Takaty Formation supports the «Volgo-Uralian» origin of the zircons. This implies the existence of a previously unknown stage of kimberlitic magmatism, much more ancient than the stage of kimberlitic magmatism formed diamonds in Arkhangelsk and Timan provinces.

Key words: Takaty Formation, detrital zircons, Volga–Uralian part of EEP.

СТРУКТУРНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БАССЕЙНОВ РЕК ПРОВИНЦИИ МАНАБИ (ЭКВАДОР)

Антонио Фермин Кампос Седеньо¹,
Е.К. Синиченко¹, И.И. Грицук^{1,2}

¹Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

²Институт водных проблем РАН
ул. Губкина, 3, Москва, Россия, 119333

В статье представлен анализ нескольких методов структурного подхода для расчета морфометрических и гидрологических характеристик речных сетей и водосборных бассейнов, на которых базируется их гидрографическое районирование. На основе рассмотренных методов оценивается индекс компактности и густота речных сетей для бассейнов рек провинции Манаби (Эквадор).

Ключевые слова: гидрология, водосборный бассейн, речные сети, индекс компактности, густота речных сетей.

Методы классификации речных систем и водосборных бассейнов. Водосборные бассейны изучались с древних времен, но научный подход с применением системного анализа для оценки запасов воды в речной сети впервые был применен в начале XX в., когда в 1914 г. Гарри Гравелюс, немецкий географ и климатолог, ввел систему для классификации водных речных сетей. В рамках этой системы он предложил, что главная река должна иметь *порядок 1*. Каждое ответвление от реки *1-го порядка*, классифицируется *2-м порядком*. На рис. 1 показаны речная сеть и водосборные бассейны Эквадора. Притоки ко *2-му порядку* классифицируются *3-м порядком* и т.д. (рис. 2).

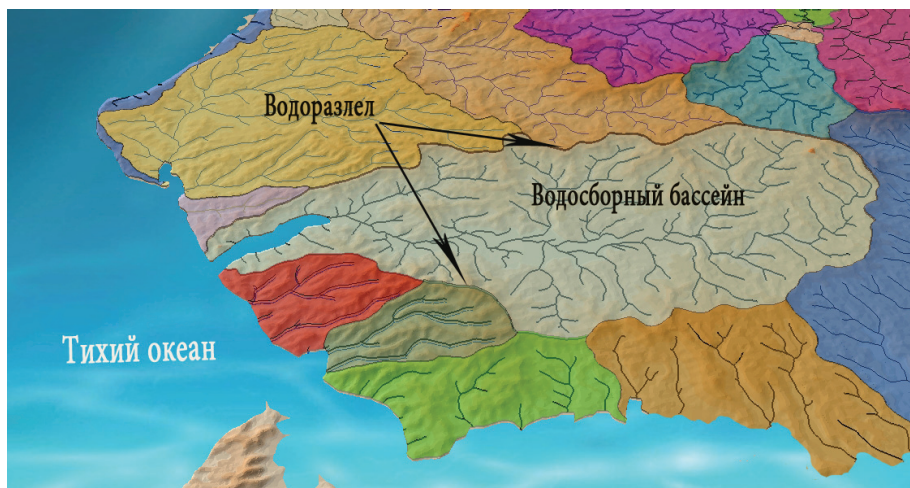


Рис. 1. Речная сеть и водосборные бассейны

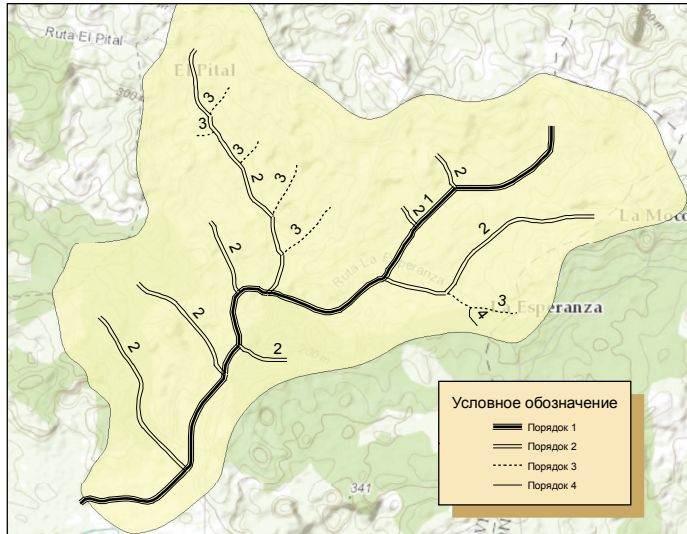


Рис. 2. Монотомическая схема изменения порядков реки по Гравелюсу (1914)

Позднее был предложен ряд примерно равноценных моделей строения речной сети. В основе всех моделей лежит деление сети по ярусам или порядкам приточности. За водотоки первого порядка принимают элементарные неразветвленные русла, получающие воду непосредственно со склонов. Водотоки первого порядка, сливаясь, дают начало руслам второго порядка, слияния последних образуют русла третьего порядка и т.д. Считают, что русла одного порядка имеют близкие гидравлические, гидрологические и морфометрические характеристики, которые взаимосвязаны и отражают особенности водотоков (рек) данного порядка. Водоток n -го порядка есть элемент системы — некоторый отрезок общей протяженности реки.

Роберт Хортон, американский ученый и эколог, в 1945 г. предложил дихотомическую схему (обратный порядок) системных компонентов речной сети [7]. По этой системе автор принимает за длину реки каждого данного класса ее протяженность от слияния с другой рекой этого же или более высокого класса вверх до истока (рис. 3) [1].

В отличие от Хортона, в 1952 г. русский ученый Н.А. Ржаницын [1; 2] предложил схему, являющуюся как бы промежуточной между монотомической и дихотомической и учитывающую существенное влияние на изменение порядка реки непосредственно притоков первого порядка; он определяет длину потока каждого данного порядка только как отрезок между потоками смежных классов. Он считал, что два притока, сливаясь вместе, образуют третью реку, которая по своим характеристикам является совершенно новым русловым истоком и не может быть продолжением одной из старых (рис. 4) [3]. Когда поток низкого порядка достигает потока высшего порядка, он не влияет на его текущий порядок. Метод Н.А. Ржаницына значительно облегчает кодирование речных сетей. В предполагаемом исследовании водного режима рек провинции Монаби (Эквадор), имеющем гидро-

логическое направление, будет принята схема порядков потоков Н.А. Ржаницына, как наиболее полно отражающая системный принцип гидрологической структуры речной сети.

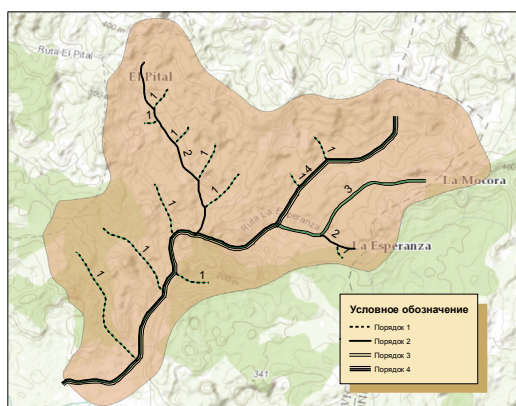


Рис. 3. Система обозначения дренажной сети по Хортону (1945)

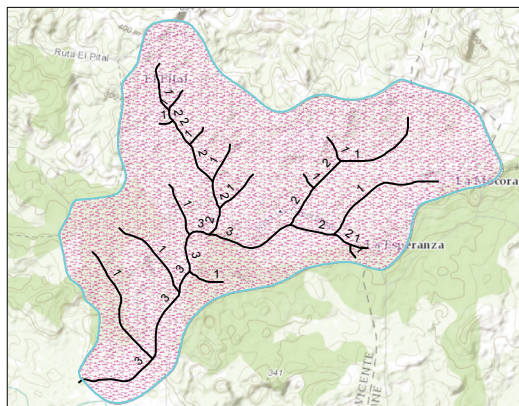


Рис. 4. Система обозначения дренажной сети по Ржаницыну (1952)

Следует подчеркнуть, что под порядковым номером потока понимается не просто цифровое обозначение участка реки, а речной поток, обладающий определенными физическими характеристиками, определенным комплексом этих характеристик. Именно эти взаимосвязанные между собой характеристики в их комплексе и определяют данный участок реки.

В 1965 г. появилась система Адриана Шейдеггера (рис. 5). Для нумерации потоков он выбрал только четные цифры. Первое наименование — порядок «2» для участков, где начинается поток, следующий порядок — «4», на слиянии двух потоков порядка «2»; следующие порядки были получены как сумма порядков сливающихся рек вверх по течению. В 1966 г. возникла модель Шрове, которая, по сути, была та же, что и схема Шейдеггера, но нумерация потоков в ней начинается с порядка «1» (рис. 6).

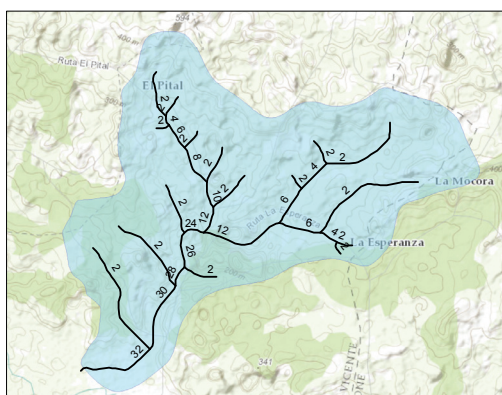


Рис. 5. Система обозначения дренажной сети по Шейдеггеру (1965)

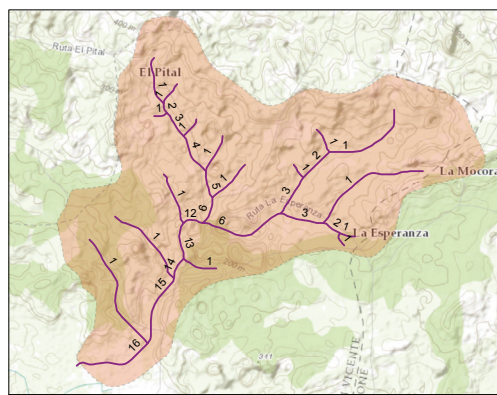


Рис. 6. Система обозначения дренажной сети по Шрове (1966)

Формулы для числа водотоков:

по Р. Хортону:

$$N_n = K_3^{n-1},$$

где N_n — число водотоков n -го порядка в речной системе m -го порядка; K_3 — гидрографический параметр (коэффициент бифуркации);

по А. Шейдеггерду:

$$n = 1 + \log_2 N_1 = 1 + 3,32 \cdot \log N_1;$$

для равнинных рек степной и лесостепной зон среднее значение $K_3 = 2,80$;

по Н.А. Ржаницыну: математическое выражение, отражающее полученные закономерности изменения числа потоков с изменением порядка потока:

$$n_{N_a} = n_1 \cdot K_n^{[N-(N_a+1)]},$$

где n_{N_a} — число потоков N_a порядка в речной сети N порядка; N_a — порядок потока; N — порядок речной сети; n_1 — число потоков N_a порядка в речной сети порядка $N_a + 1$;

величина n_1 приближенно может быть определена формулой

$$n_1 = 1 + 0,077 [15 - (N_a + 1)];$$

по А.Н. Бефани:

$$N_n = \frac{K_3^{m+1-n} + K_3 - 2}{2(K_3 - 1)}.$$

Одним из последних методов для классификации речных систем водосборов является метод, предложенный бразильским ученым Отто Пфафстеттером в 1989 г. Этот метод был принят в качестве международного стандарта в 1997 г. Геологической службой США (USGS) [5]. По этому методу классифицируются водосборные площади водотоков речных систем с присвоением им определенного международного идентификатора (id).

Процесс ранжирования площадей водосбора независимо от их размеров подразделяется максимум на десять частей. Для этого необходимо идентифицировать главную реку и ее четыре самых крупных притока. Эти реки образуют четыре водосбора и именуются *бассейнами*, они кодируются вверх по течению с четными числами (2, 4, 6 и 8). Оставшиеся притоки группируются и называются *интербассейнами* (межбассейнами) с кодировкой нечетными числами (1, 3, 5, 7 и 9), порядок наименования тот же, что и для бассейнов, т.е. от устья до верховья. Если существуют в водосборе зоны озерного типа, самую большую из них кодируют числом нуль (0) — зоны этого класса именуются *внутренними бассейнами* (рис. 7). По этой системе название водосбора совпадает с названием главной реки.

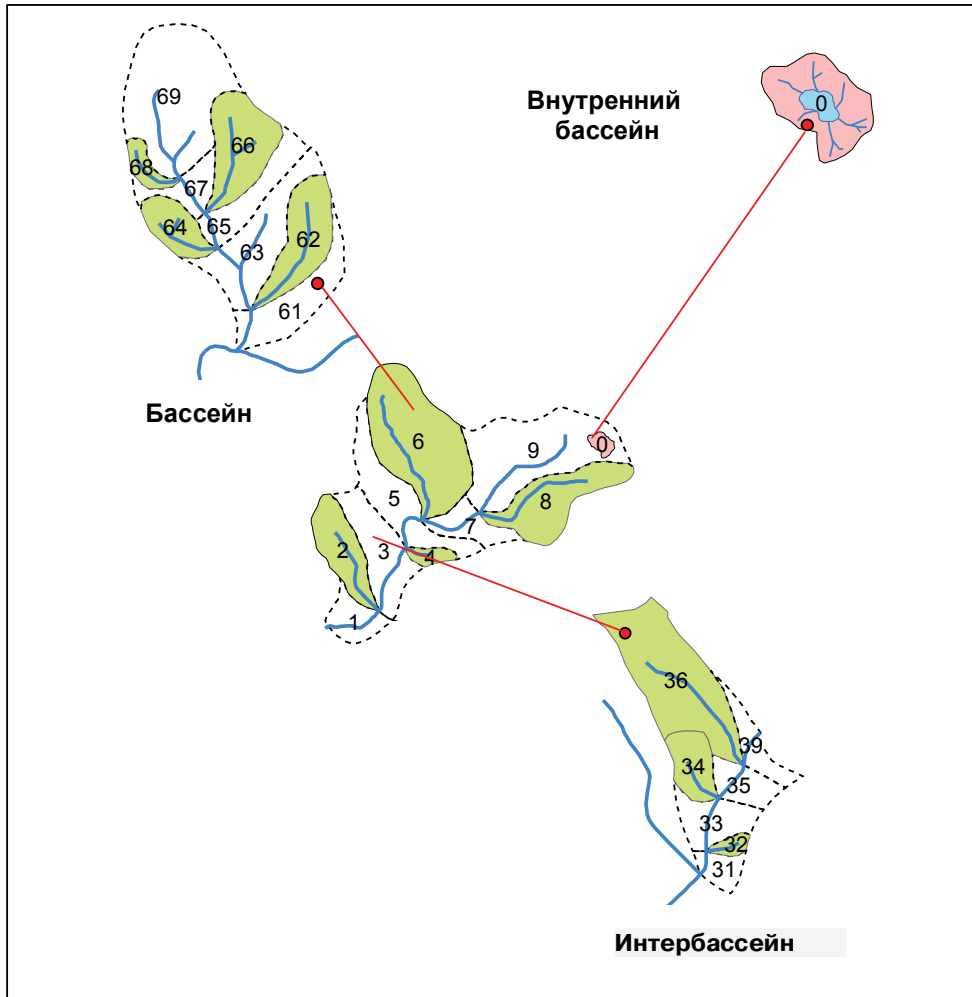


Рис. 7. Система обозначения дренажной сети по Пфафстеттеру (1989)

Оценка морфометрических параметров гидрографической сети провинции Манаби. Оценка информации проводилась по картам, в формате шейп (.shp) (рис. 8, 9), разработанных Военно-географическим институтом Эквадора (INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR DEL ECUADOR) [4], оцифрованных в масштабе 1 : 50 000, и классификацией бассейнов гидрографической демаркации Манаби (таблица), предложенной в соответствии с методологией Пфафстеттера на уровне 5, разработанной Национальным секретариатом по воде (SECRETARÍA NACIONAL DEL AGUA) [6].

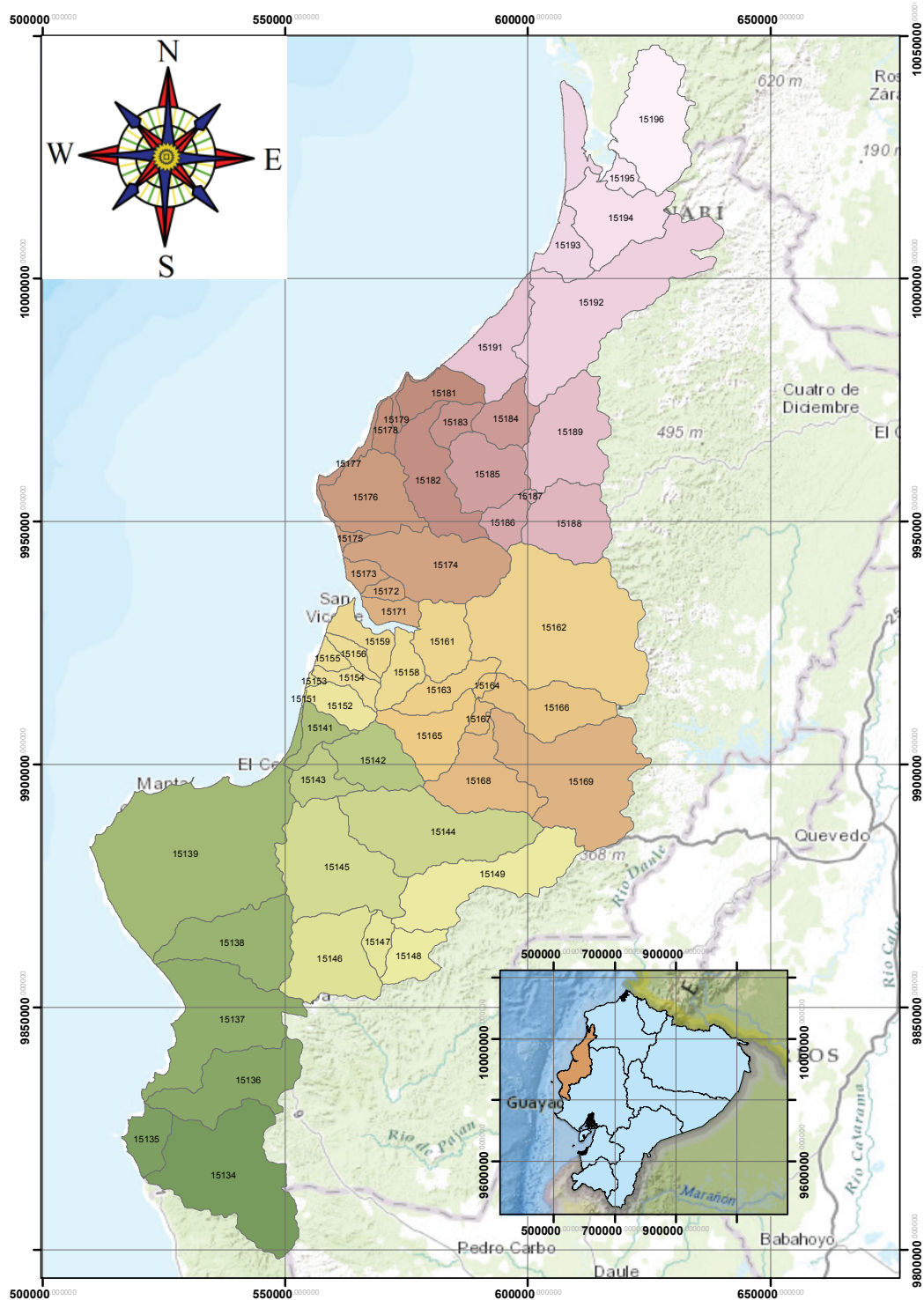


Рис. 8. Водосборные бассейны гидрографической демаркации Манаби

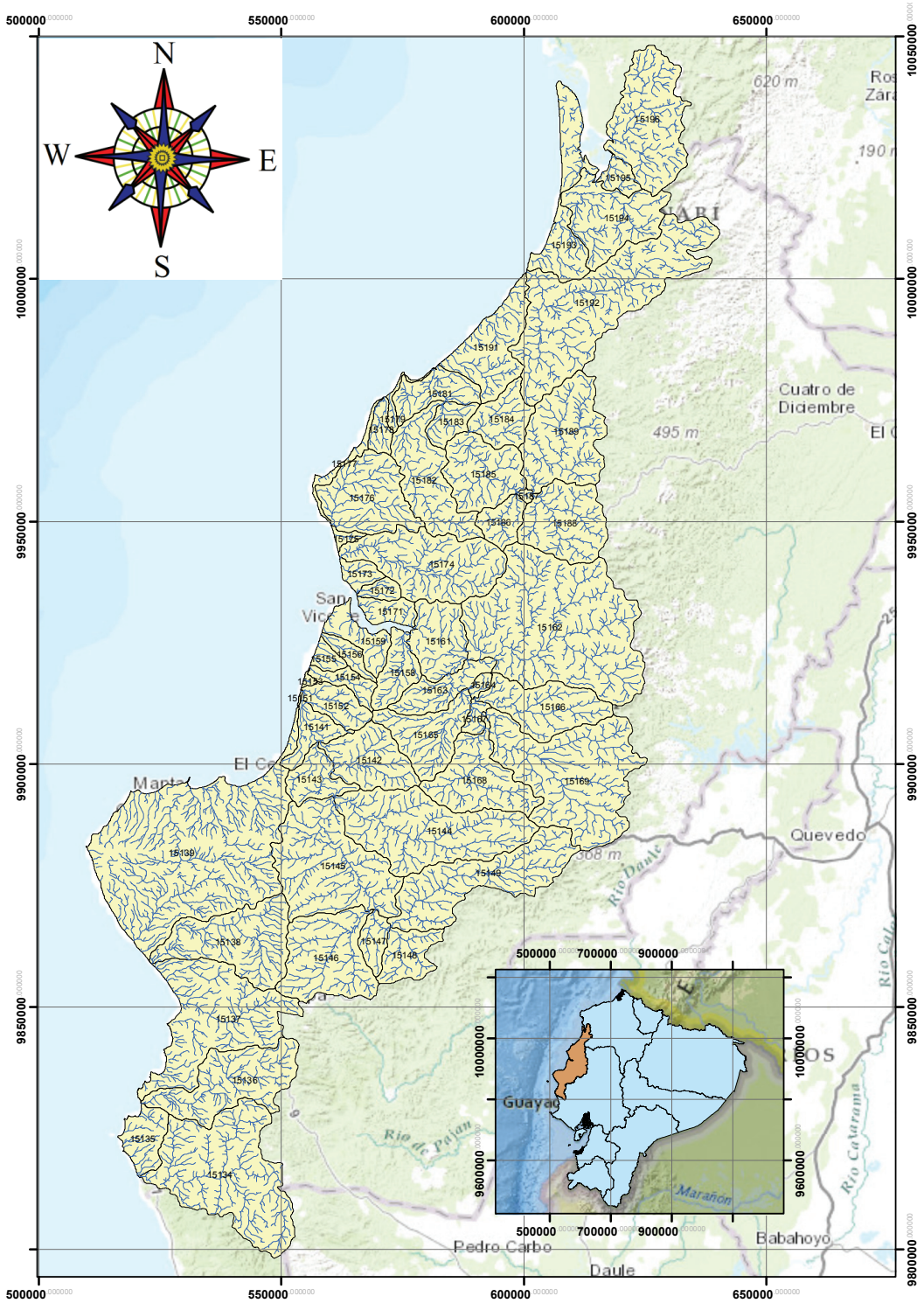


Рис. 9. Речная сеть гидрографической демаркации Манаби

**Морфометрические параметры
водосборных бассейнов гидрографической демаркации Манаби**

№	Код бассейна	Периметр бассейна P , км	Площадь бассейна A , км ²	Число потоков n	Общая длина потоков L_s , км	Показатель Гравелюса I_s , км/км	Густота речной сети D , км/км ²
1	15134	123,74	554,45	395	444,67	1,47	0,80
2	15135	45,32	96,10	59	73,72	1,29	0,77
3	15136	98,44	296,30	204	234,10	1,60	0,79
4	15137	132,44	457,26	300	358,13	1,73	0,78
5	15138	89,13	311,34	242	277,10	1,41	0,89
6	15139	180,16	1 046,42	683	886,88	1,56	0,85
7	15141	49,87	75,51	54	71,75	1,61	0,95
8	15142	62,37	185,46	132	149,90	1,28	0,81
9	15143	49,89	96,65	79	90,31	1,42	0,93
10	15144	108,33	467,14	351	361,79	1,40	0,77
11	15145	102,59	441,38	331	354,76	1,37	0,80
12	15146	79,60	293,06	207	209,63	1,30	0,72
13	15147	33,95	56,76	39	46,42	1,26	0,82
14	15148	50,53	106,09	81	80,95	1,37	0,76
15	15149	114,25	358,90	259	280,55	1,69	0,78
16	15151	7,56	1,45	1	0,51	1,76	0,35
17	15152	41,16	87,78	77	71,48	1,23	0,81
18	15153	12,52	5,48	3	1,82	1,50	0,33
19	15154	41,52	51,62	38	36,96	1,62	0,72
20	15155	23,64	29,45	8	21,33	1,22	0,72
21	15156	34,13	38,57	17	26,68	1,54	0,69
22	15158	47,24	96,47	59	68,98	1,35	0,72
23	15159	52,10	86,39	49	54,47	1,57	0,63
24	15161	55,23	157,97	83	101,82	1,23	0,64
25	15162	135,26	847,72	629	632,37	1,30	0,75
26	15163	60,37	110,63	93	106,10	1,61	0,96
27	15164	17,46	15,15	5	14,33	1,26	0,95
28	15165	67,97	180,93	124	163,69	1,41	0,90
29	15166	74,06	214,25	162	156,77	1,42	0,73
30	15167	25,62	25,37	30	36,84	1,42	1,45
31	15168	84,89	239,22	182	187,09	1,54	0,78
32	15169	129,13	546,53	377	406,57	1,55	0,74
33	15171	34,61	55,38	36	39,39	1,30	0,71
34	15172	23,46	30,01	15	24,18	1,20	0,81
35	15173	27,90	39,14	23	30,21	1,25	0,77
36	15174	91,88	351,02	264	287,70	1,37	0,82
37	15175	21,44	14,40	7	7,59	1,58	0,53
38	15176	72,82	251,59	145	200,94	1,29	0,80
39	15177	71,41	31,55	7	6,79	3,56	0,22
40	15178	30,03	41,04	31	36,64	1,31	0,89
41	15179	45,46	17,10	9	11,79	3,08	0,69
42	15181	55,32	113,88	84	102,57	1,45	0,90
43	15182	93,93	243,75	169	186,87	1,68	0,77
44	15183	36,17	62,70	40	54,56	1,28	0,87
45	15184	47,86	116,10	89	82,63	1,24	0,71
46	15185	60,83	205,79	152	166,08	1,19	0,81
47	15186	36,03	73,98	56	55,80	1,17	0,75
48	15187	11,01	6,92	7	6,80	1,17	0,98
49	15188	63,03	237,40	209	185,57	1,15	0,78
50	15189	82,36	311,55	248	243,27	1,31	0,78
51	15191	79,46	213,52	145	164,32	1,52	0,77

Окончание

№	Код бассейна	Периметр бассейна P , км	Площадь бассейна A , км ²	Число потоков n	Общая длина потоков L_s , км	Показатель Гравелюса I_s , км/км	Густота речной сети D_s , км/км ²
52	15192	158,88	647,97	476	488,64	1,75	0,75
53	15193	118,22	199,17	129	144,33	2,35	0,72
54	15194	83,93	249,32	176	201,71	1,49	0,81
55	15195	33,91	42,21	30	38,78	1,46	0,92
56	15196	91,27	343,95	295	270,03	1,38	0,79
ИТОГ			11 477,26	8 195,00	9 045,66		

Все системы, предложенные для классификации водосборных бассейнов — Гравелюса, Хортона, Страхлера, Ржаницына, Шейдегера, Шрове, Пфафстеттера и других авторов, очень важны. С одной стороны, они логически предоставляют решение проблем своего времени, а с другой — служат основой для разработки последующих систем. Тем не менее в связи с простотой применения метод Н.А. Ржаницына наиболее широко применяется, как имеющий гидрологические направление и наиболее полно отражающий системный принцип гидрологической структуры речной сети.

Предлагаемая система Пфафстеттера распространяется по всему миру и в настоящее время принята большинством стран Латинской Америки. Новизна этой системы заключается в том, что каждый речных сетей, но и предоставляет информацию об их географическом положении.

Гидрографическая демаркация Манаби состоит из 56 водосборных бассейнов, определенных на уровне 5 в соответствии с методологией Пфафстеттера. В целом, общая площадь демаркации составляет 11 477,26 км² (рис. 8). Речная система демаркации состоит из 8195,00 потоков, общая длина которых примерно составляет 9045,66 км.

Индекс компактности водосборов колеблется между 1,15 и 3,56, что указывает на разнообразие форм водосборных бассейнов.

Густота речных сетей колеблется в пределах от 0,22 до 1,45 км/км², что характеризует их неравномерность на водосборных бассейнах.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Орлов В.Г. Основы физической гидрографии. — Ленинград: Ленинградский гидрометеорологический институт, 1979. [Orlov V.G. Osnovy fizicheskoy gidrografii. — Leningrad: Leningradskij gidrometeorologicheskij institut, 1979.]
- [2] Ржаницына Н.А. Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети. — Ленинград: Гидрометеоздат, 1960. [Rzhanitsyn N.A. Morfologicheskie i gidrologicheskie zakonomernosti stroeniya rechnoj seti. — Leningrad: Gidrometeoizdat, 1960.]
- [3] Ржаницына Н.А. Руслоформирующие процессы естественных рек. — Л.: Гидрометиздат, 1985. — 300 с. [Rzhanitsyn N.A. Rusloformiruyushhie processy estestvennykh rek. — L.: Gidrometizdat, 1985. — 300 s.]

- [4] Синиченко Е.К. Характеристики водного режима малых рек и по-токов // Сб. трудов «Результаты исследования речных русел и гидротехнических сооружений». — М.: УДН, 1983. — С. 77—86. [Sinichenko E.K. *Xarakteristiki vodnogo rezhima malyx rek i potokov* // Sb. trudov «Rezultaty issledovaniya rechnyx rusel i gidrotexnicheskix sooruzhenij». — М.: UDN, 1983. — S. 77—86.]
- [5] Instituto Geografico Militar, 'Cartografía del Ecuador', Instituto Geografico Militar del Ecuador, (2014). — URL: <<http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>> [Accessed June 3th 2014].
- [6] Pfafstetter O. *Classificação de bacias hidrográficas — Metodologia de codificação* (Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), 1989).
- [6] Secretaria Nacional del Agua, 'Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Ecuador. Metodología Pfafstetter', (Quito: Secretaria Nacional del Agua, 2009).
- [7] Strahler A.N. *Dynamic basis of geomorphology* (Geological Society of America, 1952).

MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION PARAMETERS OF RIVER BASIN OF MANABI (ECUADOR)

Antonio Fermin Campos Cedeno (Ecuador)¹,
E.K. Sinichenko¹, I.I. Gritsuk^{1,2}

¹Peoples' Friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

²Water Problems Institute
Russian Academy of Science
Gubkina str., 3, Moscow, Russia, 119333

This paper presents an analysis of several methods so far developed to characterize the drainage networks of watersheds, indicating their relevant properties. On the other hand, is elaborated an extract of certain laws, on which the watershed morphometry is based to characterize the drainage potential of watersheds. Finally, based on the proposed framework, is performed the estimation of compactness index and river density of Manabi watersheds, as important input to the design of hydraulic works in the province of Manabi and Ecuador related to the management of watersheds.

Key words: hydrology, drainage basin, basin laws, compactness index, river density.

О ВОЗМОЖНОМ ВЛИЯНИИ ГАЗОНОСНЫХ ФЛЮИДОВ НА СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В РАЙОНЕ СВОДА ФЕДЫНСКОГО (БАРЕНЦЕВО МОРЕ)*

Н.П. Чамов¹, В.В. Костылева¹,
С.Ю. Соколов¹, А.Е. Котельников²

¹Лаборатория сравнительного анализа осадочных бассейнов
Геологический институт РАН
ул. Пыжевский пер., 7, Москва, Россия, 110017

²Кафедра МПИ
Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Проведен сравнительный анализ фациального и вещественного состава осадков на участках дна, где разгрузка метаноносных флюидов происходит интенсивно или не зарегистрирована. Влияние газовых флюидов на постседиментационную трансформацию глинистых минералов не установлено. Возможным локальным проявлением флюидного литогенеза могут быть аутигенные карбонатные образования.

Ключевые слова: подводная мерзлота, метаноносные флюиды, флюидный литогенез.

На шельфах арктических морей широко распространено явление разгрузки газоносных флюидов, связанное с разрушением подводной многолетней мерзлоты и залежей газовых гидратов. Спонтанные выбросы метана осложняют освоение нефтяных и газовых месторождений, вызывая аварийные ситуации при бурении и эксплуатации скважин [3; 4]. Исследование криолитозоны арктических шельфов и выявление зон концентрированной разгрузки газовых флюидов осуществляется в основном при помощи сейсмоакустических методов. Однако в последнее время значительная роль отводится и литологическим методам исследования. Изучение современных донных отложений показало, что флюидно-газовая разгрузка метана оказывает влияние на структуру осадков и является одним из ведущих факторов ранних постседиментационных преобразований. Места концентрированной разгрузки часто маркируются ореолами карбонатных образований и сопровождаются специфическими биоценозами, представленными прежде всего метанредуцирующими организмами. Изменения осадков в зонах повышенной дегазации позволяют отнести их к особому типу флюидного литогенеза [1; 2].

В 28-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» были проведены комплексные геофизические исследования и отбор проб из верхней части донных осадков Баренцева моря (рис. 1).

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, Проект № 13-05-12076 офи_м.

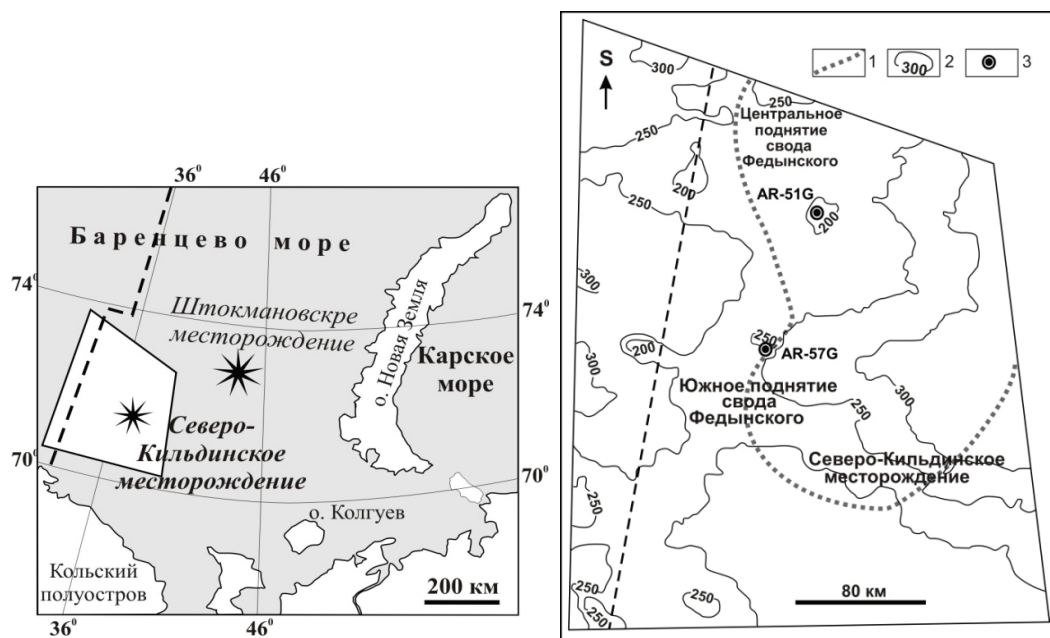


Рис. 1. Региональное положение полигона исследований (слева) и расположение станций отбора донных осадков (справа):

- 1 — северная граница распространения реликтовой многолетней мерзлоты;
 2 — изобаты; 3 — станции отбора. Пунктиром обозначена граница норвежского и российского секторов Баренцева моря

Сейсмоакустические исследования показали проявление газовой-флюидной разгрузки вблизи Северо-Кильдинского месторождения и в области перехода от реликтовой к многолетней немерзлой криолитозоне при отсутствии таковых явлений над сводом Федынского. Для выявления возможного влияния газоносных флюидов на состав поверхностных осадков были отобраны пробы в пределах центрального поднятия свода Федынского (Станция AR-51G), расположенного в зоне отсутствия многолетнемерзлых пород (ММП) и на границе зоны распространения реликтовой ММ во впадине (Станция AR-57G), разделяющей Центральное и Южное поднятия свода, вблизи которой сейсмоакустическими методами были также зафиксированы зоны концентрированной разгрузки метана.

Методы изучения. Верхняя часть разреза дна изучена с применением гидроакустического комплекса НИС «Академик Николай Страхов», в который в частности входит высокочастотный профилограф EdgeTech 3300 с разрешением в первые десятки сантиметров до метра и глубиной проникновения до 100 м и сейсмоакустический комплекс на базе спаркера мощностью 6 кДж и мини-пневмоисточника с объемом рабочей камеры до 1 л. Донные осадки отобраны с помощью грунтозаборных трубок. Объемные формы микрофоссилий изучены в ГИН РАН М.Е. Былинской. Минералого-петрографические исследования осадков проводилось в прозрачных шлифах с помощью поляризационного микроскопа. Отбор производился равномерно по разрезу через 2 или 4 см в зависимости от мощности и однородности слоя. При определении состава породообразующих терригенных компонентов псаммитовой фракций использовалась классификационная диаграмма В.Д. Шутова (1972). Выявление состава минералов глинистой фракции

(< 0,002 мм) из образцов, отобранных равномерно или близко к границам выделенных слоев по двум колонкам (всего 10 образцов), было проведено в МГУ им. М.В. Ломоносова рентгеноструктурным методом на приборе DRON-3 в ориентированных препаратах в воздушно-сухом, прокаленном виде (при температуре 550°) и насыщенных этиленгликолем (аналитик В.Л. Косоруков). Полуколичественное определение относительных содержаний глинистых минералов выполнено по методике П. Бискайя [7]. Средние соотношения смектита, иллита (гидрослюды) и хлорита приняты как 1 : 4 : 2 (при сумме трех глинистых минералов равной 100%). Под «смектитам» понимается ряд смешанослойных смектит-иллитовых образований, которые образуются в процессе преобразования глинистого вещества.

Характеристика верхней части донных осадков. В донных песчано-алевритово-глинистых осадках установлены единичные экземпляры бентосных известковых и агглютинирующих фораминифер плохой сохранности. Встречены виды, характерные для условий неглубокого шельфа: *Elphidium excavatum*, *Islandiella norcrossi*, *I. islandica*, *Protelphidium orbiculare*, *Buccella* sp., *Cassidulina reniforme*, *Reophax* sp. В верхней части (5—10 см) колонки станции AR-51G, расположенной в пределах свода Федьнского, присутствуют единичные экземпляры относительно более глубоководной *Melonis barleeanus*. Плохая сохранность и малое количество фораминифер не позволяют предполагать нормально-морские условия осадконакопления. Возможно, они являются переотложенными в ледниково-морских или ледниковых отложениях.

Ниже приводится послойное описание колонок и минералого-петрографические данные по составу породообразующих компонентов глинистой и более крупноразмерных фракций.

Станция AR-51G расположена в центральной части главной антиформы свода Федьнского. Осадки отобраны с глубины 193 м до 0,92 м ниже поверхности дна.

В разрезе сверху вниз выделено два литологически незначительно различающихся слоя (рис. 2).

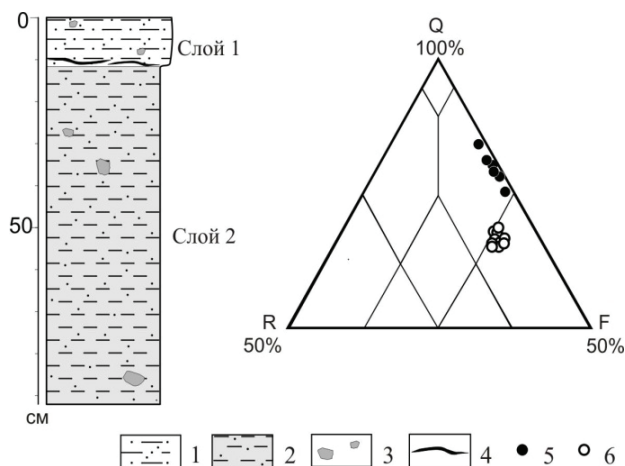


Рис. 2. Строение разреза и петрографический состав донных отложений в районе Центрального поднятия свода Федьнского, станция AR-51G:

1 — ил серовато-оливковый псаммо-алевритово-пелитовый; 2 — ил оливково-темно-серый псамо-алевритово-пелитовый; 3 — обломки пород псефитовой размерности; 4 — гидротроилит; 5 и 6 — петрографический состав песчаной фракции (в интервалах): 5 — 0—20 см, 6 — 20—92 см; Q — кварц, R — обломки пород, F — полевые шпаты

Слой 1 (0—12 см): ил серовато-оливковый, псаммо-алевритово-пелитовый, в верхней части (3 см) сильно обводненный. Слоистость неясная, мелкая, горизонтально-волнистая, прерывистая, подчеркнутая гранулометрически или (в интервале 11—11,5 см) отмеченная примазками гидротроилита. В основной массе наблюдаются единичные обломки пород псефитовой размерности (до 2 см). Нижняя граница нечеткая, постепенная.

Слой 2 (12—92 см): ил оливково-темно-серый, участками до черного, псаммо-алевритово-пелитовый уплотненный, пластичный. Текстура отсутствует или наблюдается неясная горизонтально-волнистая слоистость. В интервалах 32—36, 85—87 см отмечаются единичные обломки пород псефитовой размерности (до 5 см).

При изучении прозрачных шлифов под микроскопом установлено, что алевритово-псаммитовый материал имеет плохую сортировку, различную степень окатанности (преобладают плохо окатанные и угловатые зерна), полевошпатово-кварцевый и аркозовый состав (см. рис. 2).

Количество алевритово-псаммитового материала постепенно снижается от 40—50% до 30—35% вниз по разрезу. Породообразующими кластогенными компонентами в осадках верхней части разреза (0—20 см) являются: кварц (85—78%), полевые шпаты (15—21%), обломки кремнистых, песчано-алевритовых пород и интракласты алевритово-глинистых отложений (до 1%). Полевые шпаты представлены плагиоклазами. Ниже количество обломочного кварца уменьшается (65—67%), а полевых шпатов (25—27%) и обломков пород (6—10%) увеличивается. Кроме плагиоклазов, отмечаются зерна калиевого полевого шпата (решетчатого микроклина). Среди обломков пород псаммитовой размерности преобладают кремни. Литокласты крупнопсаммитовой и мелкопсефитовой размерности представлены алевролитами полевошпатово-кварцевыми и мелкозернистыми кварцевыми песчаниками с кальцитовым цементом. Наблюдаются также единичные интракласты алевритово-глинистых отложений. В осадках изредка присутствуют мелкие (не более 0,05 мм) обломки хлорита, светло-зеленого в проходящем свете и изотропного в скрещенных николях, возможно, хлоритизированные вулканические стекла. В качестве примеси в осадках повсеместно наблюдается незначительное количество (до 1%) мелких зерен глауконита (0,1—0,25 мм), имеющих округлую и уплощенную формы. Карбонатных образований в отложениях колонки не обнаружено. В Слое 2 наблюдаются единичные мелкие (до 0,1 и менее) фрамбоиды пирита. Глинистый матрикс полиминеральный (табл. 1).

Таблица 1

Относительные содержания глинистых минералов в илах станции AR-51G (%)

Глубина отбора пробы, см	S	HM	K	Ch	M-S	Ch-S
2—4	17	31	34	15	3	0
8—10	10	32	26	10	14	8
16—18	29	25	22	9	12	3
50—52	21	28	29	10	8	4
82—84	35	24	17	7	14	3

Обозначения: S — смектит, HM — гидрослюда, K — каолинит, Ch — хлорит, смешанослойные минералы: M-S — слюда-смектит, Ch-S — хлорит-смектит.

В составе глинистой фракции преобладает гидрослюда (в среднем 28%), каолинит (в среднем 25,6%) и смектит (в среднем 22,4%). Смектит представлен единственной модификацией с Mg обменным катионом. В подчиненном количестве присутствует железистый хлорит (в среднем 10,2%) и смешаннослойные минералы в виде неупорядоченных образований: слюда-смектит (в среднем 10,2%) и хлорит-смектит (в среднем 3,6%) с различным количеством смектитовых пакетов (20—80 и 20—50, соответственно).

Станция AR-57G расположена во впадине, разделяющей Центральный и Южный выступы свода Федынского. Осадки отобраны с глубины 244 м до 1,25 м ниже поверхности дна.

В разрезе выделено четыре литологически различных слоя (рис. 3).

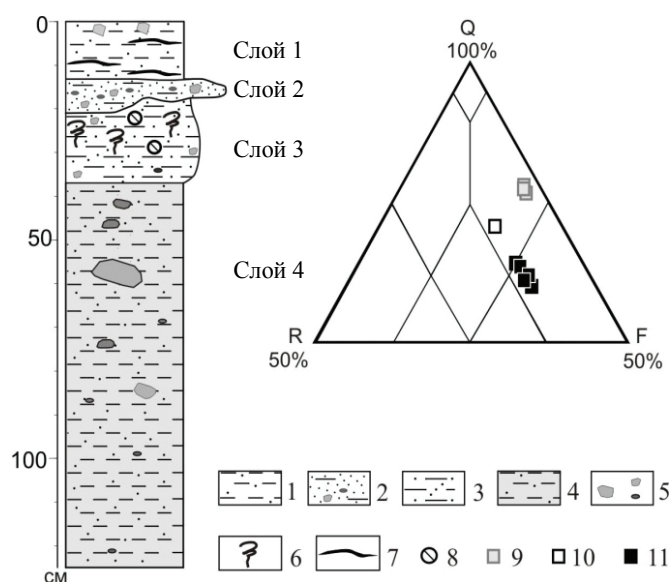


Рис. 3. Строение разреза и петрографический состав донных отложений во впадине, разделяющей Центральное и Южное поднятия свода Федынского, станция AR-57G:

1 — ил серовато-оливковый псаммо-алеврито-пелитовый; 2 — песок алеврито-гравийный глинистый; 3 — ил желтовато-коричневый псаммо-алеврито-пелитовый; 4 — ил оливково-темно-серый псаммо-алеврито-пелитовый; 5 — обломки пород псефитовой размерности; 6 — биотурбация; 7 — гидротроилит; 8 — карбонатные образования; 9—11 — петрографический состав песчаной фракции (в интервалах): 9 — 0—45 см, 10 — 21—37 см, 11 — 37—125 см

Слой 1 (0—13 см): ил пелитовый псаммо-алевритовый серовато-оливковый, в верхней части (2 см) обводненный. Слоистость мелкая, горизонтально-волнистая, неясно выраженная. В основной массе осадка наблюдаются обломки пород (до 5%) псефитовой размерности (до 1,5 см) и спикулы губок. Отмечаются тонкие прослои гидротроилита.

Слой 2 (13—21 см): песок разномзернистый глинистый уплотненный. Слой имеет карманообразную форму с четкой неровной эрозионной нижней границей.

Слой 3 (21—37 см): ил пелитовый псаммо-алевритовый желтовато-коричневый, слабоуплотненный. В интервале 21—31 см осадок биотурбирован. Мелкие

ходы илоедов выполнены мягким, разжиженным глинисто-алевритовым материалом с песчаной и гравийной примесью. Нижняя граница горизонтальная четкая.

Слой 4 (37—125 см): ил пелитовый псаммо-алевритовый оливково-темно-серый, иногда темно-серый до черного уплотненный, пластичный. Текстуры выражены слабо. Участками наблюдается неясная мелкая горизонтально-волнистая прерывистая слоистость, отмеченная изменением цвета осадков. В интервалах 41—43, 46—47, 55—61 и 73—75 см наблюдаются обломки пород (до 10%) псефитовой размерности (до 7 мм).

В шлифах выявлена плохая сортировка осадков во всех выделенных слоях. Окатанность песчаного материала различная, но преобладают среднеокатанные и угловатые зерна. В глинистых илах 1, 3 и 4 слоев присутствуют единичные среднеокатанные литокласты и интракласты крупнопесчаной и гравийной размерности (от 1,0 до 1,4 мм). Количество алеврито-псаммитового материала в илах слоя 1 составляет 30—35%, слоя 3 — до 45—50%, вновь снижаясь до 30—40% в слое 4. В слое 2 преобладают зерна алевритовой и песчаной размерности (до 70%), обломки пород псефитовой размерности (до 3 мм) единичны, глинистый матрикс составляет 15—25%. Микротекстура отложений беспорядочная. Алеврито-псаммитовый материал в верхней части колонки до глубины около 45 см (слои 1—3 и верхние сантиметры слоя 4) имеет полевошпатово-кварцевый состав. Породообразующими кластогенными компонентами являются: кварц (72—80%), полевые шпаты (18—25%), обломки кремнистых, песчано-алевритовых углистых, иногда известковистых пород и интракласты алевритово-глинистых отложений (2—3%). Полевые шпаты представлены плагиоклазами. В осадках наблюдаются единичные переотложенные мелкие (0,1—0,25 мм) зерна глауконита. В слое 2 количество обломков пород несколько увеличивается (до 10%), полевых шпатов остается неизменным, а количество кристаллокластов кварца незначительно снижается (до 70%). Среди литокластов, кроме перечисленных алевро-песчаников и кремней появляются обломки кварцитовидных песчаников. Ниже (слой 4) алевритово-псаммитовый материал имеет в основном аркозовый состав. Количество обломочного кварца уменьшается (60—65%), а полевых шпатов (25—30%) и обломков пород (до 10%) увеличивается. Полевые шпаты представлены как плагиоклазами, так и калиевыми разностями. Литокласты псаммитовой размерности представлены кремнями и углисто-глинистыми алевролитами. Обломки псефитовой размерности представлены главным образом углисто-глинистыми алевролитами, иногда полевошпатово-кварцевыми микросростками. Наблюдаются единичные интракласты алеврито-глинистых отложений. Изредка присутствуют мелкие (до 0,05 мм) обломки хлорита. Переотложенные зерна глауконита встречаются редко.

В биотурбированных осадках в интервале 21—37 см (слой 3) обнаружены морфологически различные единичные карбонатные образования и слабая седиментационно-диагенетическая минерализация в виде мелких (до 0,1 мм) фрамбоидов пирита (рис. 4).

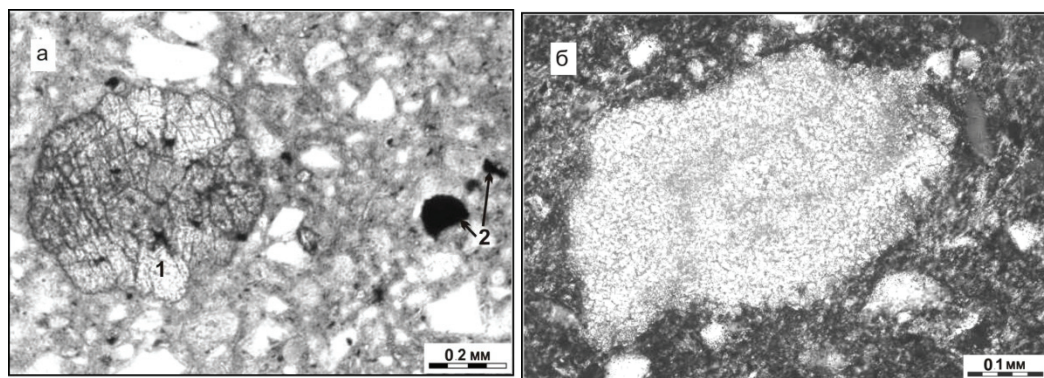


Рис. 4. Микрофотографии карбонатных образований в шлифах из биотурбированных осадков:

а — карбонатизированная трубочка, поперечный срез (1) и единичные фрамбонды пирита (2), фото без анализатора; б — аутигенное криптозернистое карбонатное стяжение, фото анализатором. Станция AR-57G, интервал 21—37 см

Первый тип карбонатных образований представлен округлыми розетковидными обособлениями с нечетливым концентрическим строением (рис. 5, а). Размер их колеблется от 0,4 до 0,6 мм. Возможно, эти образования имеют биогенную природу и являются поперечными срезами трубочек червей. Второй тип представлен неизометричными стяжениями (0,3—0,5 мм) с криптозернистой структурой, по-видимому, имеющими вторичный генезис (рис. 5, б). Глинистый матрикс полиминеральный (табл. 2).

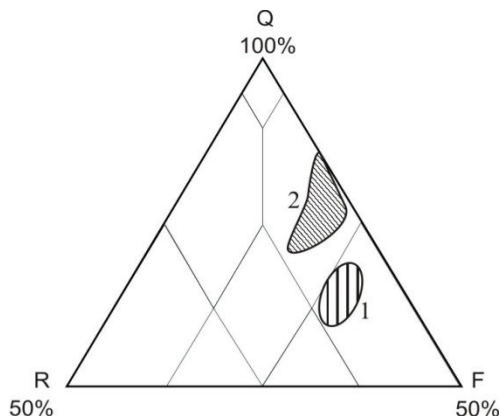


Рис. 5. Поля расположения фигуративных точек составов песчаных фракций: 1 — станции AR-51G (интервал 20—92 см) и AR-57G (интервал 45—125 см); 2 — станции AR-51G (интервал 0—20 см) и AR-57G (интервал 0—45 см). Буквенные обозначения см. рис. 3

В составе глинистой фракции преобладает смектит (в среднем 31,4%) с обменным катионом Mg, гидрослюда (в среднем 25,6%) и каолинит (в среднем 23,8%). В подчиненном количестве присутствует железистый хлорит (в среднем 8,6%), и смешаннослойный неупорядоченный минерал типа слюда-смектит (в среднем 10%) с различными соотношениями слюдистых и смектитовых пакетов от 80:20 до 20:80. Хлорит-смектит с количеством пакетов смектита от 50 до 20 присутствует в единственном образце.

Таблица 2

Относительные содержания глинистых минералов в илах, станция AR-57G (%)

Глубина отбора проб, см	S	HM	K	Ch	M-S	Ch-S
6—8	41	18	20	7	14	
20—22	14	33	37	11	5	
26—28	36	23	19	9	13	
58—60	31	33	22	8	6	
86—88	36	21	21	8	12	2

Примечание. Обозначения см. в табл. 1.

Обсуждение результатов. На основании описания кернового материала и микроскопического изучения образцов был проведен сравнительный анализ фациального и вещественного состава поверхностных донных осадков свода Федынского, залегающих на разных глубинах в пределах различных областей криолитозоны.

В районе Центрального поднятия свода Федынского осадки представлены фациями песчано-алевритово-глинистых илов, накопление которых происходило в удаленной от побережья глубоководной части шельфа вследствие осаждения из взвеси пелитового материала и при участии придонных течений различной интенсивности, поставлявших в область осадконакопления основную массу песчано-алевритового материала. В верхнем слое 1 (до глубины 12 см от поверхности дна) тонкие прослои гидротроилита свидетельствуют о кратковременных приостановках седиментации в результате которых в илах концентрировалось ОВ ($C_{орг}$ до 0,65%). При захоронении илов и переходе в зону восстановительных условий, бактериальная сульфат-редукция в них приводила к формированию тонких прослоев гидротроилита. В нижнем слое 2 (интервал 12—92 см) отсутствие следов перерывов свидетельствует о практически непрерывном накоплении осадков. Несмотря на присутствие органического вещества (ОВ) ($C_{орг}$ до 0,40%, в отдельных пробах до 0,62%), придающего осадкам участками темно-серый до черного цвет, в них отсутствуют прослои сульфидов, а обнаружены лишь единичные мелкие фрамбоиды пирита.

Во впадине, разделяющей Центральное и Южное поднятие свода Федынского, фациальный состав отложений более разнообразный. Основная часть вскрытого разреза также как и на поднятии представлена глубоководно-шельфовыми фациями песчано-алевритово-глинистых нефелоидных и придонно-флювиальных отложений. В осадках нижней части разреза (слой 4, интервал 37—102 см) не отмечено явных седиментационных перерывов и прослоев гидротроилита, несмотря на довольно высокое количество ОВ ($C_{орг}$ в среднем до 0,63%, в отдельных пробах 0,97%). В верхней части разреза (интервал 0—37 см) периодические перерывы фоновой седиментации отмечены фациальными неоднородностями в виде горизонта биотурбации и многочисленных тонких прослоев гидротроилита. Присутствие в разрезе маломощного гравийно-песчано-алевритового прослоя с эрозионной нижней границей указывают на возникновение в прошлом седиментационных обстановок с достаточно высокой гидродинамической активностью.

Вещественный состав осадков в обоих разрезах практически идентичен. На классификационной диаграмме В.Д. Шутова фигуративные точки составов песчаных фракций из нижних слоев локализуются преимущественно в верхней части поля аркозов, а из верхних слоев — в поле полевошпатово-кварцевых пород (см. рис. 5).

Состав глинистой фракции полиминеральный, идентичен в обоих разрезах, по всей мощности отобранных осадков (см. табл. 1, 2). Известно, что в зонах интенсивной разгрузки метана в смешаннослойных образованиях проявляется устойчиво повышенное содержание смектитовой составляющей [5; 8]. При анализе дифрактограмм из осадков станции AR-57G, находившихся в области разгрузки газоносных флюидов, в смешаннослойных минералах не было обнаружено какой-либо закономерности в распределении смектитовых пакетов. Можно предположить, что постседиментационные фоновые изменения не оказали влияния на состав глинистых минералов, поскольку исследованные осадки находятся на раннедиагенетической стадии породообразования.

Однородный фациальный и вещественный состав свидетельствует не только о довольно постоянных гидродинамических условиях во время накопления верхней части донных осадков, но и о постоянстве источников кластогенного материала. Некоторое увеличение степени зрелости песчаного материала в верхней части разрезов, возможно, свидетельствует об изменении со временем направления течений. В целом, донные осадки в районе свода Федынского сформированы за счет размыва и переотложения течениями и льдами терригенного материала более древних литифицированных и нелитифицированных осадочных образований и, возможно, пород гранитоидного состава. Часть обломочного материала, вероятно, имеет эдафогенный генезис. Например, во впадине обнаружены обломки углистых терригенных пород, возможно, мезозойского возраста, которые могут слагать подводные выступы свода Федынского.

В поверхностных осадках присутствуют признаки постседиментационных процессов. Помимо сульфидных новообразований — гидротроилита и фрамбоидального пирита, связанных с изменением окислительно-восстановительных условий, в осадках станции AR-57G в узком интервале присутствуют карбонатные образования. Поскольку в районе впадины, разделяющей поднятия свода Федынского была зафиксирована газово-флюидная разгрузка, происхождение карбонатов может быть связано с анаэробным окислением метана. Для подтверждения влияния газопроявления на образование выявленных карбонатов необходимо изучение в них стабильных изотопов углерода. Ранее исследование карбонатных включений другой морфологии из поверхностных осадков данного района уже проводились [6]. В карбонатах из осадков района свода Федынского не было установлено влияния метановых флюидов на изотопный состав углерода. В карбонатах из осадков района распространения реликтовой ПММ было выявлено облегчение изотопного состава углерода, что является следствием процесса бактериальной метанредукции.

Таким образом, в поверхностных осадках станции AR-57G, залегающих на границе распространения реликтовой ПММ, можно предположить локальное

проявление флюидного литогенеза, выразившееся в фациально-вещественных признаках — присутствии горизонта биотурбации и аутигенном карбонатообразовании и являющееся следствием разрушения в определенный момент времени линзы многолетнемерзлых пород или газовых гидратов в подстилающей толще донных отложений.

Состав поверхностных донных осадков в пределах свода Федынского отражает влияние главным образом седиментационных факторов. Отложения представлены фациями бескарбонатных песчано-алеврито-глинистых илов, накопившихся в глубоководной части шельфа при участии придонных течений и ледового разноса за счет единых источников кластогенного материала. Во впадине, разделяющей Центральное и Южное поднятия свода, часть обломочного материала, вероятно, имеет эдафогенный генезис вследствие разрушения мезозойских пород, слагающих склоны свода Федынского.

В осадках спорадически наблюдается седиментационно-раннедиагенетическая сульфидная минерализация в виде прослоев гидротроилита и фрамбоидального пирита.

Во впадине на границе распространения реликтовой ПММ, в области разгрузки газовых флюидов предполагается локальное фациально-вещественное проявление флюидного литогенеза в виде горизонта биотурбации и аутигенного карбонатообразования.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Беленицкая Г.А.* Флюидный седиментогенез — современное научное направление осадочной геологии: состояние, объекты, задачи // Ленинградская школа литологии: Мат. Всерос. литолог. совещания, посвященного 100-летию со дня рождения Л.Б. Рухина. Санкт-Петербург, 25—29 сентября 2012 г. — Санкт-Петербург: СПбГУ, 2012. — Т. I. — С. 30—32. [*Belenitskaia G.A.* Fluidnyi sedimentogenez — sovremennoe nauchnoe napravlenie osadochnoi geologii: sostoianie, obekty, zadachi // Leningradskaia shkola litologii: Mat. Vseros. litolog. soveshchaniia, posviashchennogo 100-letiiu so dnia rozhdeniia L.B. Rukhina. Sankt-Peterburg, 25—29 sentiabria 2012 g. — Sankt-Peterburg: SPbGU, 2012. — T. I. — S. 30—32.]
- [2] *Глазырин Е.А.* Признаки флюидного литогенеза в четвертичных отложениях Азовского моря // Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории: Мат. VII Всерос. литолог. совещания. Новосибирск, 28—31 октября 2013 г. — Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2013. — Т. I. — С. 209—211. [*Glazyrin E.A.* Priznaki fliuidnogo litogeneza v chetvertichnykh otlozhe-niiakh Azovskogo moria // Osadochnye basseiny, sedimentatcionnye i post-sedimentatcionnye protsessy v geologicheskoi istorii: Mat. VII Vseros. litolog. soveshchaniia. Novosibirsk, 28—31 oktiabria 2013 g. — Novosibirsk: INGG SO RAN, 2013. — T. I. — S. 209—211.]
- [3] *Лаверов Н.П., Дмитриевский А.Н., Богоявленский В.И.* Фундаментальные аспекты освоения нефтегазовых ресурсов арктического шельфа России // Арктика: экология и экономика. — 2011. — № 1. — С. 26—37. [*Laverov N.P., Dmitrievskii A.N., Bogoiavlenskii V.I.* Fundamentalnye aspekty osvoeniia neftegazovykh resursov arkticheskogo shelfa Rossii // Arktika: ekologiia i ekonomika. — 2011. — № 1. — S. 26—37.]

- [4] *Рокос С.И.* Инженерно-геологические особенности приповерхностных зон аномально высокого пластового давления на шельфе Печорского и южной части Каспийского морей // *Инж. геология*. — 2008. — № 4. — С. 22—28. [*Rokos S.I.* Inzhenerno-geologicheskie osobennosti priповерхностnykh zon anomalno vysokogo plastovogo davleniia na shelfe Pechorskogo i iuzhnoi chasti Kaspiiskogo morei // *Inzh. geologiya*. — 2008. — № 4. — S. 22—28]
- [5] *Чамов Н.П., Курносков В.Б.* Эпигенез осадков в аккреционной призме Каскадия на западной континентальной окраине США // *Литология и полезные ископаемые*. — 2001. — № 5. — С. 509—525. [*Chamov N.P., Kurnosov V.B.* Epigenez osadkov v akkretcionnoi prizme Kaskadiia na zapadnoi kontinentalnoi okraine SShA // *Litologiya i poleznye iskopaemye*. — 2001. — № 5. — S. 509—525.]
- [6] *Юрченко А.Ю., Блинова В.Н.* Распределение стабильных изотопов углерода и кислорода в карбонатах из осадков центральной части Баренцева моря // *Вестн. моск. ун-та. Сер. 4. Геология*. — 2012. — № 6. — С. 51—55. [*Iurchenko A.Iu., Blinova V.N.* Raspredelenie stabilnykh izotopov ugleroda i kisloroda v karbonatakh iz osadkov tcentralnoi chasti Barentseva moria // *Vestn. mosk. un-ta. Ser. 4. Geologiya*. — 2012. — № 6. — S. 51—55.]
- [7] *Biscaye P.E.* Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clays in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans // *Geol. Soc. Amer. Bull.* — 1965. — V. 76. — P. 803—832.
- [8] *Kurnosov V., Chamov N., Murdmaa I., Chudaev O., Eroshev-Shak V., Shterenberg L.* Mineralogy of sediments from the Chile Triple Junction // *Lewis S.D., Behrman J.H., Musgrave R.J., Caude S.C. (Eds.). Proceeding of the Ocean Drilling Program. Scientific Results*. — 1995. — Vol. 141. — P. 95—104.

THE POSSIBLE IMPACT OF GAS-BEARING FLUIDS ON SEDIMENT IN THE ARCH FEDYNSKOGO (BARENTS SEA)

**N.P. Chamov¹, V.V. Kostyleva¹,
S.Yu. Sokolov¹, A.E. Kotelnikov²**

¹The laboratory of comparative analysis of sedimentary basins
Geological Institute of RAS
Pyzhevsky lane, 7, Moscow, Russia, 110017

²Department of Mineral Deposits
Engineering faculty
Peoples' Friendship University of Russia
Micklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

A comparative analysis of facies and composition of precipitation on the bottom areas where the discharge of methane fluid occurs rapidly or not registered. Effect of gaseous fluids on postsedimentary transformation of clay minerals not found. Possible local manifestation of the fluid can be lithogenesis authigenic carbonate formation.

Key words: underwater permafrost, methane fluids, fluid lithogenesis.

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОГРАММЫ ИНЖЕНЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ОРИЕНТИРУЮЩЕГО СЛОЯ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ*

В. Беляев^{1,2}, А.А. Горбунов¹, С.В. Мойсеенко¹,
Ал.Ан. Муравский³, Ан.Ал. Муравский³, И.В. Попов⁴,
Н.А. Бункина⁵, К.А. Пупков¹, А.С. Соломатин²

¹Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

²Московский государственный областной университет
ул. Радио, 10А, Москва, Россия, 105005

³Институт химии новых материалов НАН Беларуси
ул. Ф. Скорины, 36, Минск, Республика Беларусь, 220141

⁴Центральный научно-исследовательский институт «Комета»
ул. Велозаводская, 5, Москва, Россия, 115280

⁵Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский университет)
Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993

Разработана модель автоматизированной системы измерения угла преднаклона и азимутальной энергии сцепления в ЖК ячейках. Создана автоматизированная система с возможностью внешнего управления параметрами измерения. Разработано программное обеспечение для управления системой, сбора, преобразования и анализа данных измерений и сопоставления экспериментальных и теоретических результатов.

Ключевые слова: автоматизированный комплекс, жидкий кристалл, ЖК, угол преднаклона, азимутальная энергия сцепления.

Постановка задачи. Для разработки новых жидкокристаллических (ЖК) материалов и дисплеев нужно знать физические свойства жидких кристаллов (ЖК)

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, гранты № 12-07-90007-Бел_а и № 14-07-00574-а, Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, грант № (Ф12Р-188), и по гранту Президента Российской Федерации НШ-1495.2012.8.

и их зависимость от управляющих воздействий и термодинамических параметров. Измерение этих свойств с удовлетворительной точностью требует разработки новых методик с учетом анизотропии практически всех свойств ЖК. Для объемных свойств ЖК (упругость, вязкость, диэлектрические и оптические параметры и др.) эти методики хорошо разработаны [1—4]. Сложнее измерять параметры взаимодействия ЖК с поверхностью ориентирующего слоя жидкокристаллической ячейки, так как результаты измерений зависят не только от свойств ЖК, но и структуры и метода приготовления ориентирующего слоя. К таким параметрам относятся поверхностное натяжение с полярной и дисперсионной компонентами, энергия сцепления ЖК с подложкой (полярная и азимутальная составляющие), угол преднаклона ЖК на поверхности подложки, поверхностная вязкость [5—8].

Для практических целей наиболее важными из них являются полярная и азимутальная энергия сцепления ЖК с подложкой (W_θ и W_ϕ соответственно) и θ — угол преднаклона ЖК. Их измерение осуществляется рядом способов, описанных в [9—19]. Для измерения угла наклона в [9—12] используется метод поворота ячейки. При этом измеряется средний угол наклона ЖК. Разработаны методы измерения полярной энергии сцепления по изменению емкости ячейки или разности фазовой задержки между необыкновенным и обыкновенным лучами, распространяющимися в ячейке, при значительной деформации слоя ЖК под действием приложенного напряжения [12—18]. В этих измерениях используются ячейки, в которых деформация директора ЖК (преимущественное направление ориентации ЖК) во всем объеме слоя ЖК происходит в одной плоскости. Это изменение ориентации ЖК внутри ячейки соответствует деформации поперечного или продольного изгиба (spray или S и bend или B соответственно). Методы измерения азимутальной энергии сцепления, основанные на измерении угла поворота поляризации света, проходящего через твист-ячейку, предложены в [12; 18]. Теоретические основы этого метода заложены в [20; 21]. Методы и установки, в которых комбинируется измерение различных перечисленных параметров, описаны в [12; 18].

В [22—24] показано, что в ячейках с неоднородным распределением директора ЖК и произвольными углами преднаклона, наблюдается более сложная связь между величиной разности фазовой задержки и углом преднаклона, чем в однородно ориентированных ячейках. Поэтому измерения, выполняемые по методам [9—12], могут не давать полной информации по углу преднаклона на поверхности ориентирующего слоя. Это существенно при разработке новых ориентирующих ЖК покрытий с углом преднаклона в большом диапазоне, например, на основе кремнийорганических соединений [25; 26].

В связи с этим актуальной проблемой является разработка методов, обеспечивающих как точность и воспроизводимость результатов измерений, так и их физическую обоснованность. Технологической задачей разработки метода исследований является скорость и простота измерений, что может обеспечиваться автоматизацией управления параметрами измерительного процесса и регистрацией результатов измерений. При этом может использоваться комбинация различных методик измерения в одной установке. В конечном счете это позволяет ускорить процесс поиска новых материалов для ЖК дисплеев, достичь более точного измерения их характеристик и снижения стоимости конечных изделий.

Целью работы является создание автоматизированного комплекса исследований элементов ЖК дисплеев. Для этого были решены следующие задачи:

- разработка модели автоматизированной системы измерения угла преднаклона и азимутальной энергии сцепления в ЖК ячейках;
- создание автоматизированной системы с возможностью внешнего управления параметрами измерения;
- разработка программного обеспечения для управления системой, сбора, преобразования и анализа данных измерений и сопоставления экспериментальных и теоретических результатов.

Физическая модель измерения поверхностного угла наклона. Для определения величины поверхностного угла наклона используют метод измерения пропускания света в зависимости от угла поворота ЖК ячейки вокруг оси, перпендикулярной к направлению распространения светового пучка. Основы метода разработаны в [1—4].

Схема измерения показана на рис. 1. Ячейка, состоящая из двух стеклянных подложек с ориентирующими покрытиями на внутренних сторонах подложек, натертыми антипараллельно относительно друг друга, располагается на оси вращения, поверхностью перпендикулярно световому лучу, между скрещенными поляризаторами, которые составляют углы с осью вращения по 45° . Ячейка может вращаться вокруг оси, параллельной поверхности, перпендикулярной направлению натирания и луча света. Измеряется пропускание света при повороте ячейки на различные углы вокруг этой оси.

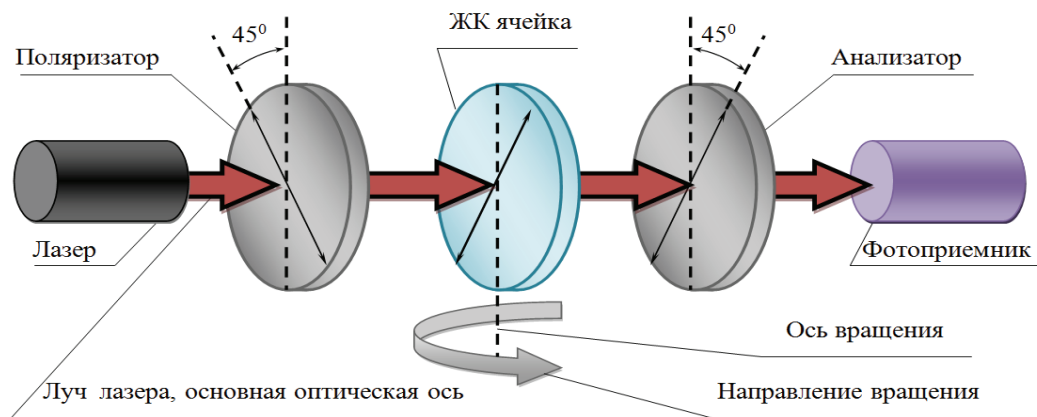


Рис. 1. Схема определения величины поверхностного угла наклона

Интенсивность света I , прошедшего через систему на рис. 2 и зарегистрированного фотоприемником, связана с фазовой задержкой δ между необыкновенным и обыкновенным лучами, распространяющимися в ячейке, соотношением:

$$I = I_0 \sin^2 \left(\frac{\delta}{2} \right), \quad (1)$$

где I — интенсивность светового пучка, проходящего через оба поляризатора с параллельными осями, с учетом поглощения ячейки.

Фазовая задержка светового луча, прошедшего через ячейку при угле поворота ячейки ψ , может быть представлена как

$$\delta(\alpha, \psi) = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot d \cdot f(\alpha, \psi), \quad (2)$$

где d — толщина слоя ЖК; λ — длина волны света, $f(\alpha, \psi)$ — функция угла преднаклона ЖК $\alpha = 90^\circ - \theta$ и угла поворота ячейки ψ , определяемого как угол между падающим световым лучом и направлением нормали к поверхности ячейки.

Функция $f(\alpha, \psi)$ выражается как

$$\begin{aligned} f(\alpha, \psi) = & \frac{1}{c^2} (a^2 - b^2) \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \sin \psi + \\ & + \frac{1}{c} \sqrt{1 - \frac{a^2 b^2}{c^2} \cdot \sin^2 \psi} - \frac{1}{b} \cdot \sqrt[3]{1 - b^2 \cdot \sin^2 \psi}. \end{aligned} \quad (3)$$

$$a = \frac{1}{n_1}; \quad b = \frac{1}{n_2}; \quad c^2 = a^2 \cdot \cos^2 \alpha + b^2 \cdot \sin^2 \alpha,$$

где n_1 — показатель преломления ЖК для необыкновенного луча, n_2 — показатель преломления ЖК для обыкновенного луча.

Для определения интенсивности света прошедшего через ЖК ячейку в опыте с вращением ячейки вдоль оси, параллельной оси распространения света, была применена следующая формула:

$$T(\psi) = \frac{1}{2} \sin^2 \left\{ \frac{1}{2} \cdot \delta(\psi) \right\}. \quad (4)$$

Для исследования азимутальной энергии сцепления W_ϕ определяется длина волны λ , для которой угол поворота линейно-поляризованного света определяется только углом закрутки нематической твист-ячейки; регистрируется поворот плоскости поляризации ϕ , при прохождении света с длиной волны λ через ЖК ячейку. Азимутальная энергия сцепления определяется параметрами ЖК и геометрией ячейки следующим образом:

$$W = \frac{2 \cdot K_{22}}{d \cdot \sin 2\Delta\phi}, \quad (5)$$

где $\Delta\phi = \phi_t - \phi_0$, ϕ — угол закрутки ячейки, заданный условиями обработки ориентирующего слоя, ϕ_t — реальный угол закрутки жидкого кристалла в ячейке; d — зазор ячейки, K_{22} — константа упругости ЖК для деформации кручения.

Для определения величины ϕ , измеряют пропускание твист-ячейки при ее вращении вокруг оси, нормальной к поверхности подложки. Пропускание света длины волны λ_c ЖК ячейкой определяется формулой

$$T = \cos^2 \{ \phi_t + \beta_{P-A} \}, \quad (6)$$

где β_{P-A} — угол между оптическими осями поляризатора и анализатора.

Принципиальная схема установки для измерения поверхностного угла наклона и азимутальной энергии сцепления представлена на рис. 2.

Автоматизированный комплекс измерения параметров ЖК ячейки был осуществлен с помощью программного блока управления (SMSD-1.5K). На рис. 3 приведена блок-схема установки с последовательностью действий при выполнении измерения и управление этими действиями.

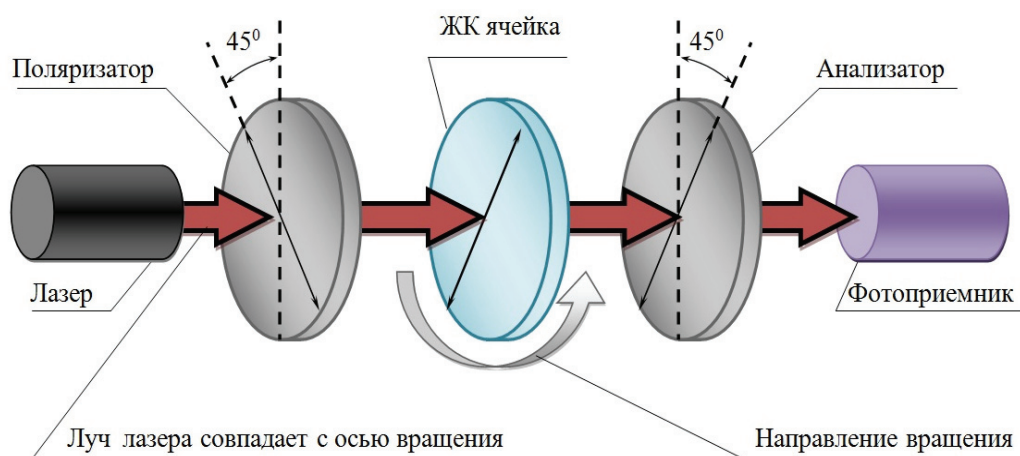


Рис. 2. Схема определения величины поверхностного угла наклона

Система управления, сбора, преобразования и анализа данных измерений. Процесс измерения происходит следующим образом. Излучение лазера проходит через поляризатор и падает на ЖК ячейку, находящуюся в движении. После прохождения через движущуюся ЖК ячейку луч проходит через анализатор и попадает в фотоприемник. Вал, вращающий ячейку, приводится в движение ременной передачей от шагового мотора по заданной программе, установленной в блок управления мотором. Скорость вращения ячейки оптимально подобрана для своевременного снятия показаний с фотоприемника. Данные с фотоприемника попадают на осциллограф, где обрабатываются в специальной программе с возможностью записи массива данных в файл. Для обработки данных был выбран программный пакет Matlab. Данные записываются в файл формата совместимого с этим программным пакетом.

После завершения исполнения файла получаем график пропускания света ЖК твист-ячейкой в зависимости от угла поворота по оси вращения симметричной лучу лазера (рис. 4).

Чтобы определить измеряемый параметр взаимодействия ЖК с ориентирующей подложкой, например азимутальной энергии сцепления, необходимо совместить кривую пропускания света, полученную экспериментально, с кривой, рассчитанной по формуле (4) для некоторого значения угла недозакрутки $\Delta\varphi$.

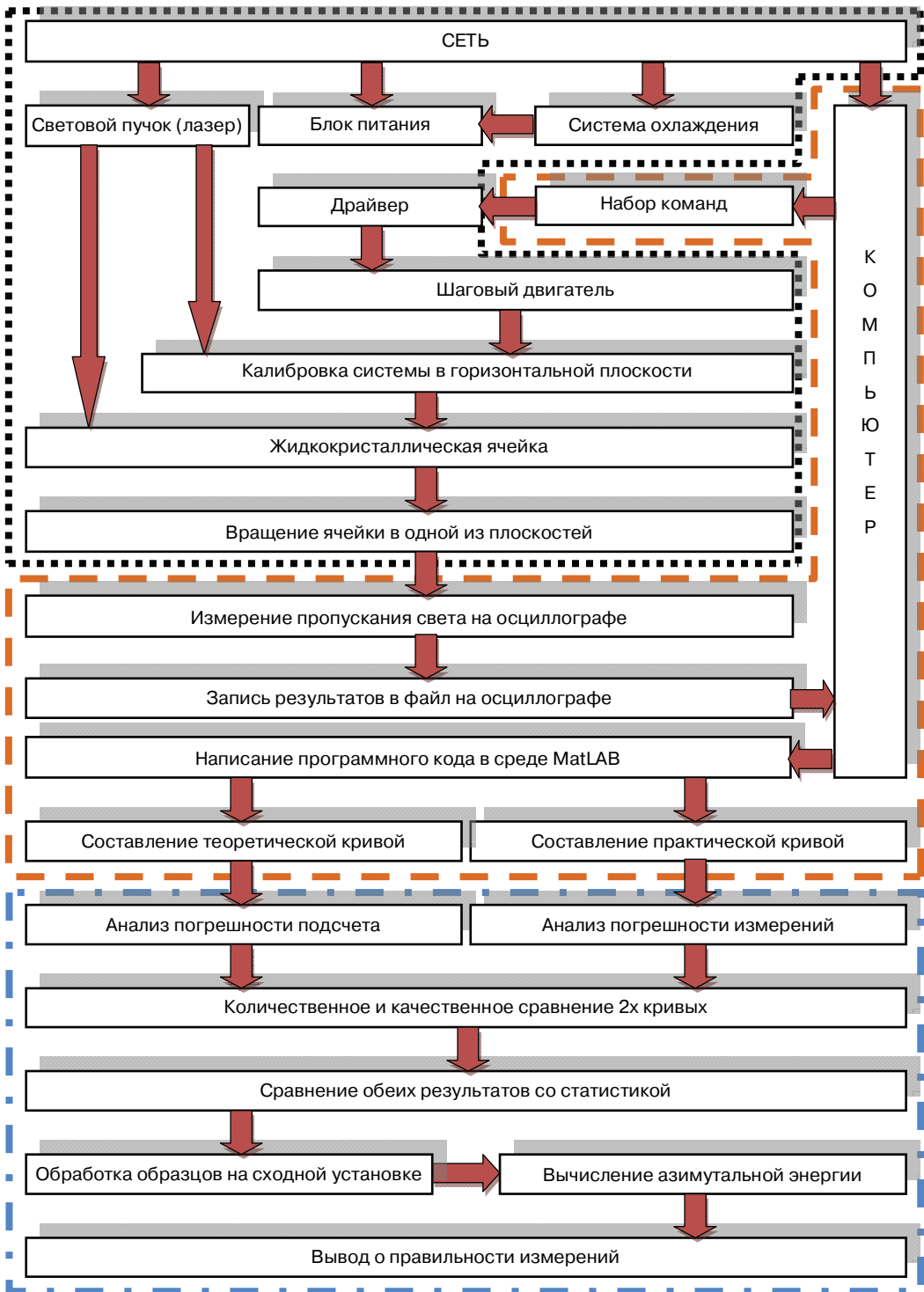


Рис. 3. Блок-схема установки, описывающая последовательность действий при проведении эксперимента:

Обозначения: — физическое звено опыта,
 — программное звено опыта,
 — аналитическое звено опыта.

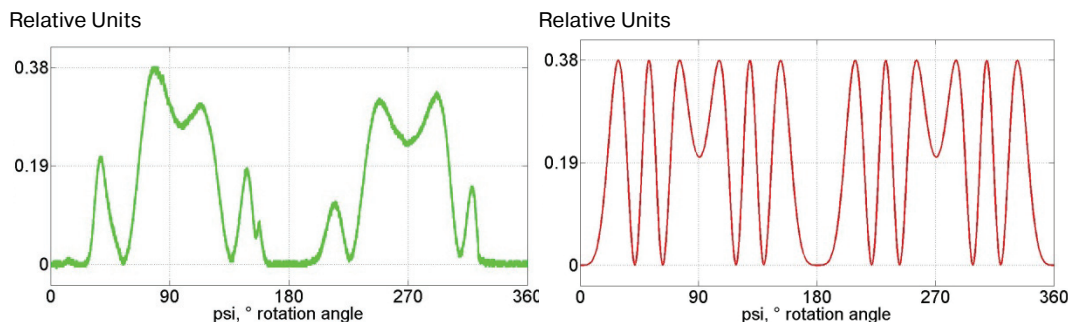


Рис. 4. Теоретическая кривая пропускания света в зависимости от угла поворота вокруг оси, перпендикулярной пучку света (справа) и экспериментальная кривая измерения этого же параметра на примере S ячейки № 2046 (слева)

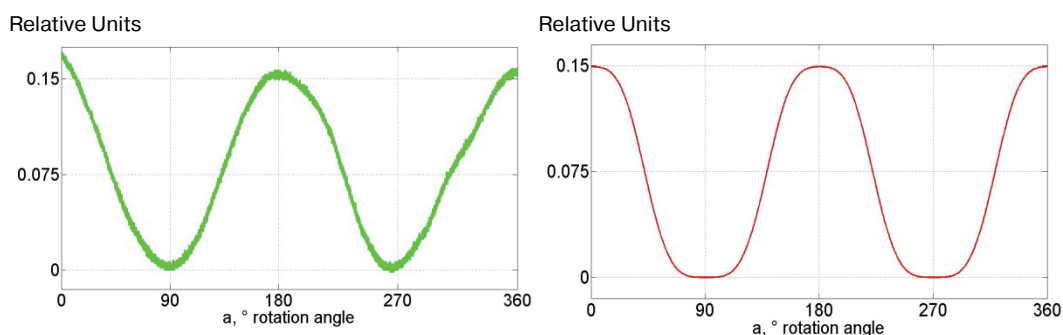


Рис. 5. Теоретическая кривая пропускания света в зависимости от угла поворота вокруг оси, параллельной пучку света (справа) и экспериментальная кривая измерения этого же параметра на примере твист ячейки № 2727 (слева).

Твист-ячейка заполнена ЖК-807. Показатели преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей $n_o = 1,5$, $n_e = 1,7$. Кривая пропускания рассчитана для угла недозакрутки ячейки $\Delta\varphi = 4^\circ$. Толщина ячейки $d = 23$ мкм, константа упругости $K_{22} = 3 \cdot 10^{-12}$ Н

Чтобы определить измеряемый параметр взаимодействия ЖК с ориентирующей подложкой, например угол преднаклона, необходимо совместить аналогичную кривую пропускания света, полученную экспериментально по схеме на рис. 1, с кривой, рассчитанной по формулам (2—4), рис. 4. Высота локальных максимумов пропускания при увеличении угла поворота уменьшается на экспериментальных графиках из-за отражения света от внешних поверхностей подложек ЖК ячейки. Этот эффект в формулах (2—4) не учтен.

Разработано программное обеспечение в среде Matlab, способное из данных формул с возможностью изменения параметров строить теоретические графики пропускания света в зависимости от параметров каждой конкретной ЖК ячейки и необходимого для измерения диапазона.

Для двух методов измерения свойств жидкокристаллических ячеек разработаны и физически смоделированы установки и системы автоматического поворота

подвижных элементов и их кинематические схемы управления при различных направлениях поворота ячейки в одной установке.

Разработанные системы обеспечивают диапазон изменения углов поворота в заданном диапазоне с точностью, достаточной для правильного определения измеряемых физических параметров, а также высокую скорость измерения.

Разработано программное обеспечение, позволяющее сохранять полученные данные в файлах, совместимых с программным макетом Matlab, и смоделировать зависимость пропускания света от угла поворота ячейки, исходя из основных параметров кристалла для систем с различными направлениями поворота ячейки.

Для образцов ЖК ячеек различного типа ориентации смоделировано пропускание света в зависимости от угла поворота ячейки; эти данные сопоставлены с экспериментальными результатами и на их основе определены значения параметров взаимодействия жидких кристаллов с поверхностью ориентирующего слоя.

Авторы благодарят В.Г. Мазаеву за предоставление образцов КОС, В.М. Шошина, Ю.П. Бобылева за изготовление образцов ЖК ячеек, С.М. Трофимова за изготовление некоторых деталей оснастки установки, Д.Н. Чаусова за помощь в оформлении и структурировании данных.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Physical Properties of Liquid Crystals*, Editors: G.W. Gray, V. Vill, H.W. Spiess, D. Demus, J.W. Goodby, Wiley-VCH, New-York, 522 p., 2009.
- [2] *Physical Properties of Liquid Crystals*, EMIS Data Review Series, vol. 1, Nematics, ed. D.A. Dunmur, A. Fukuda and G.R. Luckhurst, 2000.
- [3] *Belyaev V.V. "Viscosity of Nematic Liquid Crystals Hardcover"*, Cambridge International Science Publishing Ltd (2009), 238 p.
- [4] *Belyaev V.V. "Physical methods for measuring the viscosity coefficients of nematic liquid crystals"*, *Physics-Uspexhi (Advances in Physical Sciences)*, V. 44, p. 255—284 (2001).
J. Cognard Alignment of Nematic Liquid Crystals and Their Mixtures, Molecular Crystals and Liquid Crystals, Suppl. 1 (Gordon and Breach, London, 1982)
- [5] *Yablonski S., Rajteri M., Oldano C., Durand G. Dynamics of flexoelectric surface oscillations in a nematic liquid crystal, Proc. SPIE 2731, 87 (1995).*
- [6] *Yablonski S., Rajteri M., Oldano C., Durand G. Dynamics of flexoelectric surface oscillations in a nematic liquid crystal, Proc. SPIE 2731, 87 (1995).*
- [7] *Vorflusev V.P., Kitzerow H.-S., Chigrinov V.G. Azimuthal surface gliding of a nematic liquid crystal, Appl. Phys. Lett. 70, 3359 (1997).*
- [8] *Marinov Y., Shonova N., Versace C., Petrov A.G. Flexoelectric spectroscopy measurements of surface dissipation of energy and surface viscosity of weakly anchored homeotropic nematic // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1999, 329, p. 533.*
- [9] *Opara T., Baran J.W., Zmija J. "Interferential method for determining the inclination angle of molecules in plane-parallel liquid crystalline layers", Cryst. Res. Technol. 22, 1073 (1988).*
- [10] *Chen S.-H., Kuo C.-L., Wie J.G., Hao C.-W. "Implementation and assessment of a tilt-angle-measurement system for liquid-crystal cells", Proc. SPIE 1815, Display Technologies, 194 (1992).*

- [11] Han K.Y., Miyashita T., Uchida T. “Accurate measurement of pretilt angle in the liquid crystal cell by an improved crystal rotation method”, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 241, 147—157 (1994).
- [12] Muravsky A.I., Murauski A., Mazaeva V., Belyaev V. “Parameters on the LC alignment of organosilicon compound films”, *J. Soc. Inf. Display.* 13, 349—354 (2005).
- [13] Yokoyama H., van Sprang H.A. A novel method for determining the anchoring energy function at a nematic liquid-crystal wall interface from director distortion at high fields, *J. Appl. Phys.* 57, pp. 4520—4526 (1985).
- [14] Murauski A., Chigrinov V., Muravsky A., Fion S.-Y., Yeung, Ho J., Kwok H-S. Determination of the polar anchoring energy by electrical measurement, *Phys. Rev.* E71, 061707 (2005).
- [15] Nastishin Yu.A., Polak R.D., Shiyonovskii S.V., Bodnar V.H., Lavrentovich O.D. Nematic polar anchoring strength measured by electric field techniques, *J. Appl. Phys.* 86, No. 8, pp. 4199—4213 (1999).
- [16] Murauski A., Chigrinov V., Kwok H-S. New method for measuring polar anchoring energy of nematic liquid crystals, *Liq. Cryst.* 36, No.8, pp. 779—786 (2009).
- [17] Toko Y., Akahane T. Evaluation of Pretilt Angle and Polar Anchoring Strength of Amorphous Alignment Liquid Crystal Display from Capacitance Versus Applied Voltage Measuremen, *Mol. Cryst. Liq. Cryst. Sci. Technol.* 368, pp.469—481 (2001)
- [18] Murauski A., Muravsky A., Agabekov V. “Setup for simultaneous measurement of azimuthal and polar anchoring energy of liquid crystal within single cell in automatic regime”, *Bulletin of Moscow Region State University. Series Physics and Mathematics*, Issue 1, p. 51—56 (2013).
- [19] Belyaev V.V., Chausov D.N., Solomatin A.S., Murauski A.A., Murauski A.A., Mazaeva V.G. The study of the interaction energy with LCD monomolecular films orienting // 6th Workshop “Metrology and Standartization in Nanotechnology and Nanoindustry”, ... Proc., Ekaterinburg, 4—7 june 2013 г. Abstract, p. 37—40.
- [20] Zhou Y., He Z., Sato S. Generalized Relation Theory of Torque Balance Method for Azimuthal Anchoring Measurements, *Jpn. J. Appl. Phys.* 38, pp.4857 (1999)
- [21] Kononov V.A., Muravski A.A., Yakovenko S.Ye., Pelzl J. An Accurate Spectral Method for Measuring Twist Angle of Twisted Cells with Rubbed and Grooved Surfaces, *SID Symp. Dig. Tech. Pap.* 31, 1, pp. 620—623 (2000).
- [22] Belyaev V.V., Solomatin A.S., Chausov D.N., Gorbunov A.A. “Measurement of the LC pretilt angle and polar anchoring in cells with homogeneous and inhomogeneous LC director configuration and weak anchoring on organosilicon aligning films”, in *SID’12 Digest*, (2012), pp. 1422—1425.
- [23] Belyaev V., Solomatin A., Chausov D. “Phase retardation vs. pretilt angle in liquid crystal cells with homogeneous and inhomogeneous LC director configuration”, *Optics Express* 21, 4244—4249 (2013).
- [24] Belyaev V.V., Solomatin A.S., Chausov D.N. “Measurement of the liquid crystal pretilt angle in cells with homogeneous and inhomogeneous LC director configuration”, *Applied Optics*, Vol. 52, pp. 3012—3019 (2013).
- [25] Belyaev V.V., Mazaeva V.G. “Green technologies of LC alignment on the base of organosilicon compounds”, in *SID’11 Digest* (2011), pp. 1412—1415.
- [26] Belyaev V., Mazaeva V., Min’ko A., Timofeev S. “Organosilicon films with molecular micro-relief to align liquid crystals”, *Bulletin of Moscow Region State University. Series Physics and Mathematics*, Issue 1, p. 52—57 (2010).

**AUTOMATED SYSTEM
FOR MEASURING THE PARAMETERS OF THE INTERACTION
WITH THE SURFACE OF THE LIQUID CRYSTAL
ALIGNMENT LAYER OF A LIQUID CRYSTAL CELL**

**V.V. Belyaev^{1,2}, A.A. Gorbunov¹, S.V. Moyseyenko¹,
Al.A. Murauski³, An.A. Murauski³, I.V. Popov⁴,
N.A. Bunkina⁵, K.A. Pupkov¹, A.S. Solomatin²**

¹Faculty of Engineering
Peoples' Friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115093

²Moscow Region State University
Radio str., h. 10A, Moscow, Russia, 105005

³Institute of Chemistry of New Materials
of National Academy of Sciences of Belarus
F. Scoriny str., 36, Minsk, Belarus, 220141

⁴Central Research Institute "Kometa"
Velozavodskaja str., 5, Moscow, Russia, 115280

⁵Moscow Aviation Institute (National Research University)
Volokolamskoe av., h. 4, Moscow, A-80, Russia, 125993

A model of an automated system of pretilt angle measurement and azimuthal anchoring energy in LC cells is developed. The automated system with ability to external control of measurement parameters. A software for the system control, data collection, transformation and analysis of measurement data is developed to comparison of the experimental and theoretical results.

Key words: automated system, liquid crystal, LCD, angle pretilt, azimuthal anchoring energy.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ СНЕГОТАЯНИЯ

И.И. Грицук^{1,2}, В.К. Дебольский^{1,2}, О.Я. Масликова¹,
Н.К. Пономарёв², Е.К. Синиченко²

¹Институт водных проблем РАН
ул. Губкина, 3, Москва, Россия, 119333

²Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

В гидравлической лаборатории РУДН выполнены измерения количества тающего снега в реальном времени, исследован процесс непрерывного снеготаяния с последующей инфильтрацией талых вод в грунт в зависимости от начальной плотности, толщины слоя и температуры снега. Рассмотрено влияние дождя на процесс снеготаяния, выполнены эксперименты с воздействием инфракрасного (ИК) и ультрафиолетового (УФ) излучения на снежный покров. Работа является продолжением исследования динамики берегового склона водных объектов в условиях криоли-тозоны.

Ключевые слова: лабораторный эксперимент, снеготаяние, дождь, солнечная радиация, альбедо снега.

Роль снеготаяния в процессах разрушения берегов равнинных рек изучена слабо, в то время как весеннее изменение температуры, а вместе с ним и превращение снега в воду и образующиеся потоки воды могут играть роль даже большую, чем дождевые осадки. Это выражается в том, что процесс таяния иногда происходит в течение нескольких суток и все твердые осадки, накопившиеся за зимний период (их толщина может достигать нескольких метров), превращаются в потоки воды, провоцируя интенсивные береговые процессы.

Своеобразие снега как твердого вещества состоит в том, что он обладает явно выраженной аморфностью и его механические и термические свойства за сравнительно небольшие промежутки времени могут претерпевать существенные изменения.

Предложенные ранее модели, например модель тепловлагообмена SPONSOR [2], позволяли оценить трансформации характеристик снежного покрова при значительной межгодовой изменчивости погоды.

При *радиационном снеготаянии* под действием проникающих в снежную толщу солнечных лучей снег тает не только на поверхности, но и в верхнем слое толщиной 20—40 см. Это характерно для континентальных территорий Сибири, Заволжья. Снег тает в первые дни весны, когда температура воздуха еще ниже нуля, а солнечная радиация уже оказывает ощутимое воздействие [3]. Таяние начинается не сверху, а в глубине снежного покрова под поверхностной прозрачной ледяной пленкой за счет этого «парникового эффекта». Снег непро-

зрачен для лучей длинных волн части спектра, а коротковолновые лучи проходят сквозь тонкий поверхностный слой снега. Этот слой становится своеобразным «ледяным стеклом», не пропускающим собственное длинноволновое излучение глубинных слоев и защищающим их тем самым от охлаждения. В Сибири этот механизм часто обеспечивает таяние основной массы снега при отрицательных температурах воздуха.

В районах России с морским климатом, например в западных областях Карелии, преобладает второй тип снеготаяния различных авторов — снег тает только с поверхности за счет обмена теплом с воздухом.

Конвективное снеготаяние происходит при пасмурной погоде за счет притока теплых воздушных масс. Этот процесс часто усиливается выпадением жидких осадков и может продолжаться круглые сутки. Таяние снега происходит в две стадии: днем талая вода скапливается в крупных порах и движется вниз, оплавляя кристаллы снега; ночью же замерзает. Это явление повторяется много раз и приводит к перекристаллизации снега.

Радиационное снеготаяние. Интенсивность суммарной радиации равна [4]:

$$I_s = I \sin h + i, \quad (1)$$

где I_s — суммарная радиация; I — интенсивность прямой радиации на поверхность, перпендикулярную солнечным лучам; i — интенсивность рассеянной радиации, h — высота Солнца.

Известно, что коротковолновая часть радиации может проникать в снежную толщу на несколько десятков сантиметров [5]. Известно также, что закон, по которому интенсивность радиации ослабевает с глубиной (закон Бугера-Ламберта):

$$I(z) = I_0 e^{-\beta z}, \quad (2)$$

где $I(z)$ — интенсивность радиации на глубине z м от поверхности снега, β — коэффициент экстинкции (ослабления, м^{-1}).

Разные авторы предлагают использовать различные значения коэффициента экстинкции β и его зависимости от плотности снега, размера кристаллов льда в снеге, его влажности, участка спектра падающей радиации и т.д. Так, например, существует большая разница в значении β для коротковолнового и длинноволнового участков спектра. В [6] предложено значение $\beta = 10 \text{ м}^{-1}$ для коротких волн и 250 м^{-1} для длинных.

В упрощенной схеме предполагается, что вся длинноволновая радиация поглощается верхним слоем снега и ИК участок спектра несет энергию, преобразующуюся в тепловую уже на поверхности снега.

Зная о свойстве УФ радиации проникать вглубь непрозрачных веществ (например, облаков), можно предположить, что облачность является задерживающим фактором только для ИК участка спектра. Поэтому в дневные часы воздействие ультрафиолета на снеготаяние происходит при любой погоде (кроме дождливой), тогда как инфракрасное излучение действует непосредственно лишь в ясные дни.

Альbedo. Поглощенная снегом энергия определяется значением альbedo снега. Изменение коэффициента отражения снега в период снеготаяния объясняется

изменением физических свойств снега [5]. Для снега и льда изменение оптических свойств связано с перестройкой структуры при нагреве, которая определяет показатели рассеяния и поглощения снежно-ледовой толщи.

В тех работах, которые учитывают изменение альbedo снега, чаще всего эти изменения связывают с температурой поверхности снега или с его возрастом. В [6] дан обзор моделей, которые учитывают изменение альbedo в зависимости от диаметра снежных зерен и зенитного угла Солнца, а также зависимость коэффициента поглощения от диаметра зерен и плотности снега. В [7] приведены данные измерений интенсивности отраженной радиации над площадками с загрязненным в различной степени снегом и получена зависимость альbedo от поверхностной концентрации примеси. Эта зависимость также может быть использована для расчетов снеготаяния.

Таким образом, учитывая (1), из общего потока суммарной радиации ($I \sin h + i$) от земной поверхности отражается часть его $(I \sin h + i)A$, где A — альbedo поверхности. Остальная часть суммарной радиации

$$I_s = (I \sin h + i) \cdot (1 - A) \quad (3)$$

поглощается земной поверхностью и идет на нагревание верхних слоев почвы и воды — поглощенная радиация.

Экспериментальные исследования на лабораторной модели

Влияние конвективной составляющей на процесс снеготаяния. Эксперименты проводились в гидравлической лаборатории РУДН на установке, позволяющей моделировать дождевые потоки различной интенсивности, одновременно измеряя как скорость и количество инфильтрационных потоков, так и количество бокового стока [8].

В лабораторных условиях имеется возможность наблюдать во времени фазу аккумуляции — образование и накопление влаги внутри снега, превращение его в фирн и фазу оплывания, когда количество воды в фирне достигает критического значения и фирновая толща уже не может удерживать влагу. Количество образующейся талой воды отслеживается во времени посредством инфильтрации в грунт (песок) и измерением ее объема на выходе [8].

Так как в лабораторных экспериментах отсутствовала солнечная (радиационная) составляющая, таяние происходит за счет конвекции тепла. *Без дождя:* использовались различные начальные параметры снега (исходная температура, плотность) и подстилающей поверхности (рис. 1, а).

При наличии дождя проводилось несколько экспериментов с различной интенсивностью дождя. Общий вид графиков имеет тот же вид, что и в отсутствие дождя, а именно три фазы: аккумуляция, интенсивный сток и непрерывное таяние (рис. 1, б). Как видно из графиков, при наличии непрерывного дождя время аккумуляции сокращается и чем больше интенсивность дождя, тем быстрее наступает таяние. Скорость инфильтрации в данном случае стремится не к нулевому значению, а к значению интенсивности дождя, выбранное для данного эксперимента.

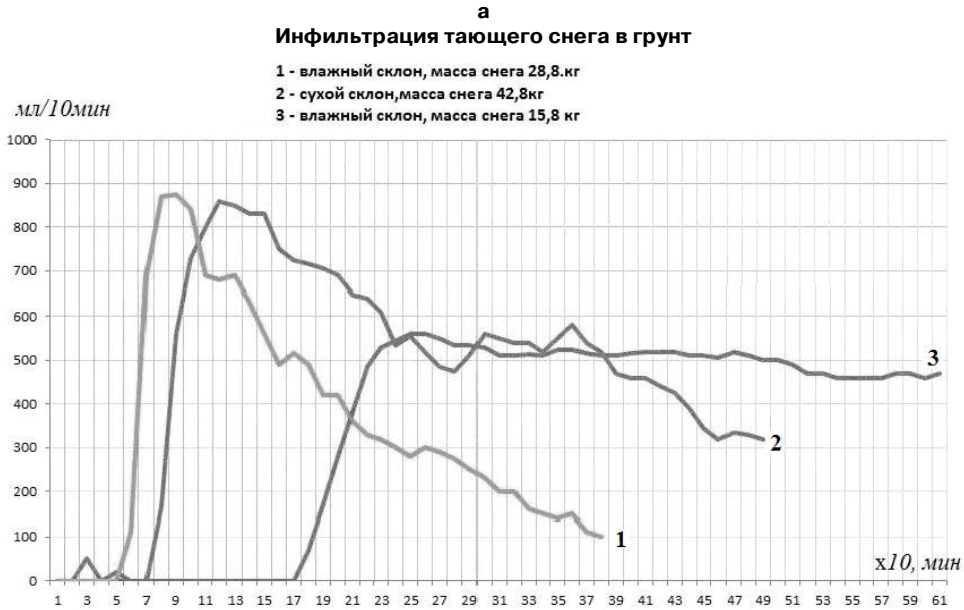


Рис. 1. Инфильтрация тающего снега:
а) инфильтрация талой воды в грунт (по данным лабораторных измерений);
б) инфильтрация талой и дождевой воды в грунт при воздействии дождя на процесс таяния снега

Графики функций зависимости инфильтрации от интенсивности дождя имеют несколько максимумов. Особенно это заметно при большой интенсивности дождя. Это объясняется тем, что дождь, с одной стороны, ускоряет таяние за счет притока тепла в снег, а с другой — вызывает накопление и обрушение накопленной влаги за счет механического добавления жидкости в фирново-снеговую толщу.

Влияние радиационной составляющей на процесс снеготаяния. Эксперименты с воздействием инфракрасного (ИК) и ультрафиолетового (УФ) излучения на снежный покров проводились также в гидравлической лаборатории РУДН. В процессе эксперимента измерялось количество таящего снега в реальном времени. Талые потоки просачивались через подстилающий грунт (в нашем случае — люберецкий песок), предварительно охлажденный до 0—2 °С. Измерения проводились при одинаковой мощности ламп (100 Вт), что дало возможность выявить разницу воздействия разной длины излучений на снеготаяние при прочих равных условиях (температура окружающей среды, плотность и структура снега, толщина снежного покрова). Также при этих же условиях проводился эксперимент со свободным (без воздействия излучения) таянием. Для всех трех случаев были построены графики изменения количества талых потоков во времени (рис. 2).

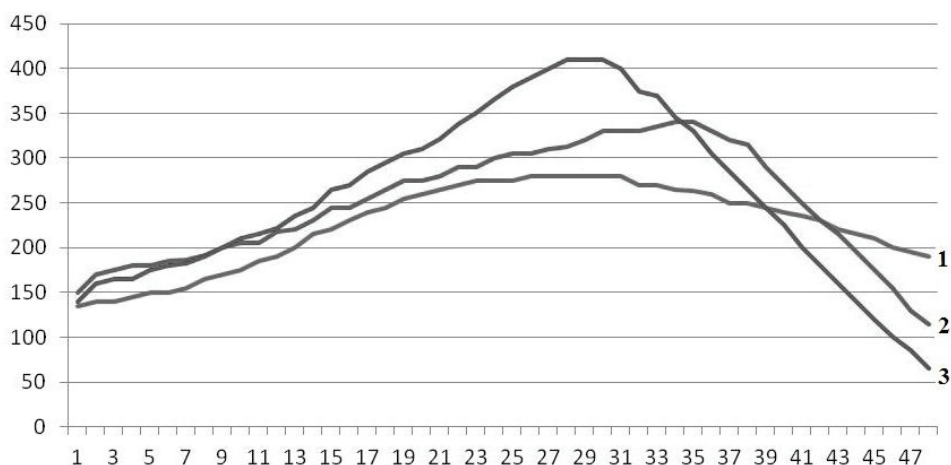


Рис. 2. Эксперимент с одинаковой мощностью длинноволнового и коротковолнового участков спектра: 1 — свободное таяние; 2 — УФ; 3 — ИК. Мощности ламп в обоих случаях одинаковы (100 Вт)

Так как во всех трех случаях присутствует одинаковая для всех конвективная составляющая снеготаяния (эксперименты проводились при определенных начальных условиях), были получены графики зависимости снеготаяния исключительно от воздействия УФ и ИК-радиации путем вычитания из полученных экспериментально зависимостей графика свободного (конвективного) таяния (рис. 3, участок возрастания объема таяния).

В системе уравнений (1)—(3) для лабораторных условий мы пренебрегаем излучением атмосферы и воды, затратами тепла на испарение и конденсацию и учитываем исключение в полученных графиках конвективной составляющей, получаем:

$$M = \frac{Ie^{-\beta z}}{L_i(1-A)}, \quad (4)$$

где $L_i = 334$ Дж/кг — удельная теплота таяния; β — коэффициент экстинкции; A — альbedo снежного покрова.

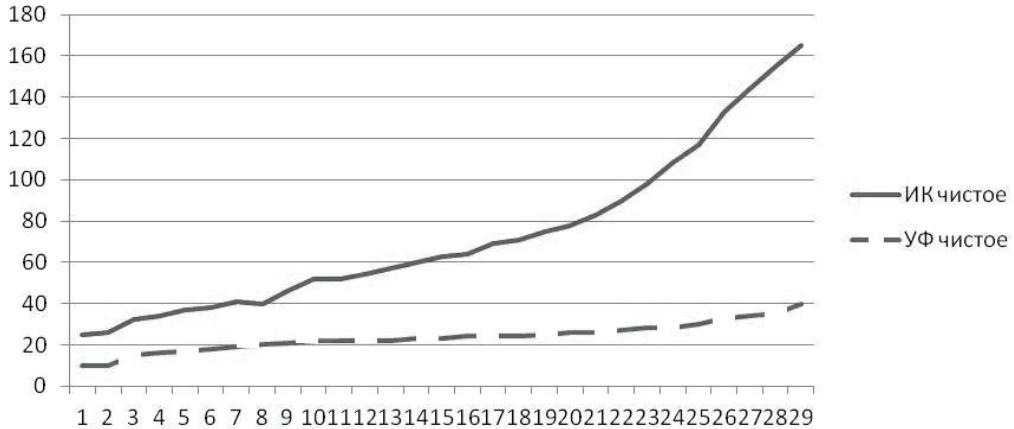


Рис. 3. Объемы снеготаяния под влиянием УФ (нижняя линия) и ИК (верхняя линия) участков спектра (без воздействия тепловой составляющей)

Таяние происходит во всей снежной толще. Талые потоки на всех слоях суммируются с приходящими с верхних горизонтов. В итоге подстилающей поверхности достигает сумма этих потоков, вычисляемая суммированием формулы (4) по координате z (от $-z$ до 0). Рассматривая интегральную сумму по толщине снежного покрова и учитывая изменение альбедо, получаем:

$$M = \frac{I}{L_i (1 - e^{-\beta z})(1 - A(t))}, \quad (5)$$

где T — время полного таяния снежного покрова, t — текущее время.

Исследование изменения альбедо снежного покрова по данным экспериментов. Из уравнения (5), зная входящие параметры и интерполируя полученные после вычитания конвекционной составляющей, графики M (см. рис. 3), можно при желании получить график зависимости альбедо от времени при воздействии лучей разной природы:

$$A(t) = 1 - \frac{M_{\text{эксп}} L_i}{I \cdot (1 - e^{-\beta z})}. \quad (6)$$

Для линии таяния под воздействием ИК-лучей линия тренда имеет вид $M_{\text{эксп}} = 2,58e^{0,08t}$; под воздействием УФ-лучей $M_{\text{эксп}} = 2,62e^{0,04t}$. Подставляя эти зависимости в (6), получаем графики изменения альбедо от времени в процессе таяния снега (рис. 4).

Из рис. 4 видно, что под воздействием ИК-лучей альбедо изменяется и достигает нулевого значения быстрее, хотя начальное значение близко к 1, что означает практически полное отражение в начале таяния. УФ-волны практически сразу проникают вглубь снега, чем и объясняется меньшее отражение с поверхности, но альбедо под воздействием УФ-лучей уменьшается с меньшим коэффициентом экстинкции. Период максимума таяния для случая с ИК-лампами наступает быстрее (см. рис. 2).

Зависимость альбедо от времени в процессе таяния носит экспоненциальный характер, что хорошо согласуется с данными, приведенными в [7].

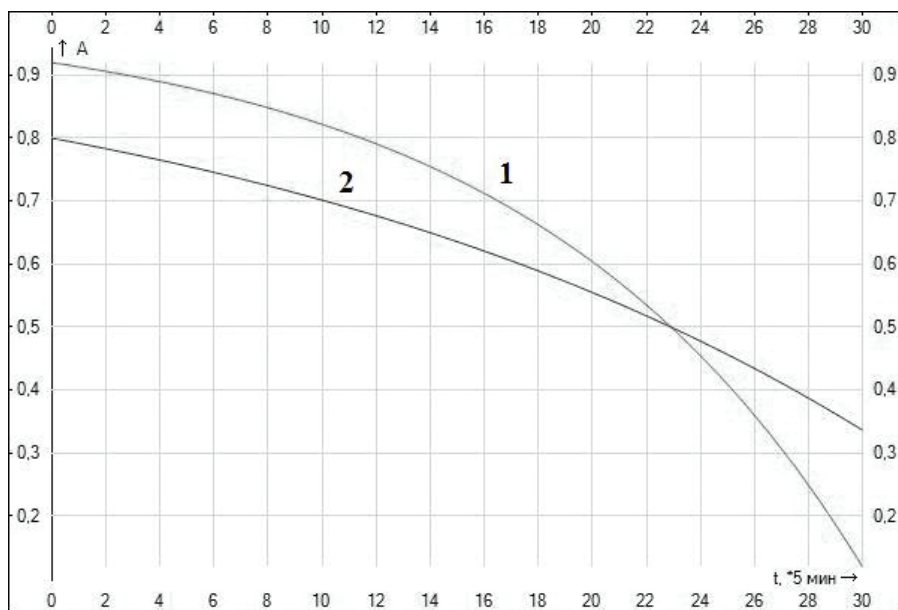


Рис. 4. Графики изменения альбедо в процессе таяния снега для ИК (1) и УФ (2) излучений

Интенсивность воздействия на снег ИК и ИФ излучения ослабевает с глубиной по закону Бугера-Ламберта. Существует большая разница в значении коэффициента экстинкции для коротковолнового и длинноволнового участков спектра. Вся длинноволновая радиация поглощается верхним слоем снега, и ИК участок спектра несет энергию, преобразующуюся в тепловую уже на поверхности снега.

Поскольку короткие волны (УФ) проникают вглубь непрозрачных веществ и преобразуются в тепловые потоки внутри снежной толщи, влияние этих лучей на снеготаяние носит отличный от влияния ИК лучей характер.

Под воздействием ИК излучения альбедо снежного покрова изменяется и достигает нулевого значения быстрее, хотя начальное значение альбедо свежевыпавшего снега близко к 1, что означает практически полное отражение в начале таяния. УФ-волны практически сразу проникают вглубь снега, чем и объясняется меньшее отражение с поверхности, но альбедо под воздействием УФ-лучей уменьшается с меньшим коэффициентом экстинкции.

Полученные результаты исследования одной из составляющих единого термогидродинамического процесса (радиационное снеготаяние) являются необходимой частью общего прогноза влияния изменения климата на течение деструкционных криогенных процессов в зоне ММП.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Грицук И.И., Дебольский В.К., Масликова О.Я., Пономарев Н.К. Влияние осадков в виде дождя на деформации берегового склона русел рек в условиях многолетнемерзлых пород // Лед и снег. — 2012. — № 3(119). — С. 73—78. [Gritsuk I.I., Debolskiy V.K., Maslikova O.Ya., Ponomarev N.K., Sinichenko E.K. Vliyanie osadkov v vide dozhdy na deformacii beregovogo sklona rusel rek v usloviyah mnogoletnemerzlih porod // Led i снег. — 2012. — № 3(119). — S. 73—78.]

- [2] Шмакин А.Б., Турков Д.В., Михайлов А.Ю. Модель снежного покрова с учетом слоистой структуры и ее сезонной эволюции // Криосфера Земли. — 2009. — Т. XIII. — № 4. — С. 69—79. [Shmakin A.B., Turkov D.V., Mihailov A.Yu. Model snezhnogo pokrova s uchetom sloistoy strukturi i ee sezonnoy evolyucii // Kriosfera Zemli. — 2009. — Т. XIII. — № 4. — С. 69—79.]
- [3] Дюнин А.К. В царстве снега. Серия: Человек и окружающая среда. — Новосибирск: Наука, 1983. — 160 с. [Dyunin A.K. V carstve snega. Seria: Chelovek i okruzhayushaya sreda. — Novosibirsk: Nauka, 1983. — 160 s.]
- [4] Пряхина С.И. и др. Метод косвенного расчета радиационного баланса. Учебно-методическое пособие для студентов. — Саратов, 2011. [Pryahina S.I. i dr. Metod kosvennogo rascheta radiacionogo balansa. Uchebno-metodicheskoe posobie dlya studentov. — Saratov, 2011.]
- [5] Кузьмин П.П. Физические свойства снежного покрова. — Ленинград: Гидрометеиздат, 1957. — 180 с. [Kuzmin P.P. Fizicheskie svoystva snezhnogo pokrova. — Leningrad: Gidrometeoizdat, 1957. — 180 s.]
- [6] Мачульская Е.Е. Моделирование и диагноз процессов тепловлагообмена между атмосферой и сушей в условиях холодного климата: Дисс. ... канд. физ.-мат. наук. — М., 2001. [Malchul'skaya E.E. Modelirovanie i diagnoz processov teplovлагоobmena mezhdu atmosferoy i sushey v usloviyah holodnogo klimata: Diss. ... kand. f.-m. nauk. — M., 2001.]
- [7] Калужный И.Л., Шутов В.А. Современное состояние проблемы природных исследований снежного покрова // Водные ресурсы. — 1998. — Т. 25. — № 1. — С. 34—42. [Kalyuzhnyy I.L., Shutov V.A. Sovremennor sostoyanie problemi naturnih issledovaniy snezhnogo pokrova // Vodnie resursi. — 1998. — Т. 25. — № 1. — С. 34—42.]
- [8] Грицук И.И., Дебольский В.К., Масликова О.Я., Пономарев Н.К., Синиченко Е.К. Лабораторное исследование снеготаяния как составляющей сезонного процесса деформаций русла // Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования». — 2013. — № 3. — С. 83—91. [Gritsuk I.I., Debolskiy V.K., Maslikova O.Ya., Ponomarev N.K., Sinichenko E.K. Laboratornoe issledovanie snegotayaniya kak sostavlyayushey sezonnogo processa deformatsiy rusla // M.: Vestnik RUDN. Seriya «Inzhenernie issledovaniya». — 2013. — № 3. — С. 83—91.]

PILOT STUDY OF INFLUENCE OF SOLAR RADIATION ON INTENSITY OF SNOWMELT

I.I. Gritsuk^{1,2}, V.K. Debolskiy^{1,2}, O.Ya. Maslikova¹,
N.K. Ponomarev², E.K. Sinichenko²

¹Russian Academy of Sciences

Water Problems Institute

Gubkina str., 3, Moscow, Russia, 119333

²Peoples' Friendship University of Russia

Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

In the hydraulic laboratory of People's Friendship University of Russia a series of experiments to study the various possible external influences on the process of snow melting were carried out at the facility, which allows to measure the amount of seepage flow in time. The laboratory investigations of the continuous snow melting and infiltration of melt water into the ground, depending on the properties of the snow (initial density, thickness and temperature) were carried out. The impact of rain flows and radiation of the sun on the snow-melting process were examined, carried out experiments with exposure to infrared (IR) and ultraviolet (UV) radiation on the snow. The work is a continuation of the study of the dynamics of the coastal slope of the water bodies in a permafrost [1].

Key words: laboratory experiments, snow melting, rain, solar radiation, albedo of snow.

ДВУХЭТАПНЫЙ СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ СЕТЕВОГО ОПЕРАТОРА*

А.И. Дивеев, Е.Ю. Шмалько

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Вычислительный центр им. А.А. Дородницына
Российской академии наук
ул. Вавилова, 40, Москва, Россия, 119333

Рассмотрена задача синтеза системы управления и ее решение вычислительным методом сетевого оператора. В отличие от известного подхода, в котором метод сетевого оператора непосредственно решает задачу синтеза управления по заданным критериям и терминальным условиям, в настоящей работе рассмотрен подход на основе двухэтапного синтеза. Цель нового подхода состоит в обеспечении близости полученных в результате синтеза управлений к оптимальным управлениям. На первом этапе решаются численно задачи оптимального управления для различных начальных значений из заданной области. На втором этапе методом сетевого оператора решается задача аппроксимации полученного на первом этапе множества оптимальных траекторий. Приведен пример двухэтапного синтеза системы управления спуском космического аппарата на поверхность Луны.

Ключевые слова: синтез системы управления, оптимальное управление, генетический алгоритм, метод сетевого оператора, управление космическим аппаратом.

В работе рассматривается задача синтеза системы управления. В задаче необходимо найти управление в виде многомерной функции, описывающей зависимость значения вектора управления от вектора координат пространства состояний объекта. Аналитические методы решения задачи синтеза управления имеют ограниченное применение. Последние достижения в области алгоритмизации, в частности, современные методы символьной регрессии, методы генетического программирования [1; 2], грамматической эволюции [3], аналитического программирования [4] и сетевого оператора [5—10] позволяют создавать вычислительные методы для решения задачи синтеза управления.

Вычислительный метод синтеза системы управления на основе метода сетевого оператора включает поиск математического выражения, описывающего функцию управления, с помощью генетического алгоритма, построенного на основе принципа малых вариаций базисного решения, по заданным критериям качества, определяющим условия достижения цели управления и оптимальное значение показателя качества управления. Одним из недостатков метода сетевого оператора является отсутствие возможности проверки близости полученного решения к оптимальному решению. Полученная в результате решения задачи синтеза функция управления после ее подстановки в правые части дифференциальных уравнений, описывающих математическую модель объекта управления, должна давать систему уравнений без вектора управления в правых частях. Решение полученной

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-08-00008а.

системы обыкновенных дифференциальных уравнений при начальных значениях из заданной области, используемой при решении задачи синтеза, должно совпадать с оптимальными траекториями, которые могут быть получены в результате решения задачи оптимального управления.

В настоящей работе рассматривается вычислительный метод синтеза системы управления, состоящий из двух этапов. На первом этапе решаем задачи оптимального управления для каждого начального состояния из заданного дискретного множества начальных условий. Для решения задачи оптимального управления используем вычислительный метод, построенный на основе вариационного генетического алгоритма. После решения каждой задачи оптимального управления получали оптимальные значения управления и оптимальные траектории движения объекта. На втором этапе решаем методом сетевого оператора задачу аппроксимации множества точек оптимальных траекторий.

В качестве прикладного примера в работе рассматривается задача управления спуском космического аппарата на поверхность Луны [11].

Рассмотрим формальную постановку задачи синтеза системы управления.

Задана математическая модель объекта управления

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}), \quad (1)$$

где \mathbf{x} — вектор состояния объекта управления, \mathbf{u} — вектор управления, $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$, $\mathbf{u} \in U \subseteq \mathbb{R}^m$, $\mathbf{x} = [x_1 \dots x_n]^T$, $\mathbf{u} = [u_1 \dots u_m]^T$, U — ограниченное замкнутое множество.

Для системы (1) задано множество начальных значений

$$\mathbf{x}(0) \in X_0 \subseteq \mathbb{R}^n. \quad (2)$$

Заданы терминальные условия

$$\varphi_i(\mathbf{x}(t_f)) = 0, \quad i = \overline{1, l}, \quad (3)$$

где t_f — время окончания процесса управления.

Задан критерий качества управления

$$J = \int_0^{t_f} f_0(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) dt \rightarrow \min. \quad (4)$$

Необходимо найти управление в виде

$$\mathbf{u} = \tilde{\mathbf{h}}(\mathbf{x}), \quad (5)$$

где $\tilde{\mathbf{h}}(\mathbf{x})$ — многомерная функция, удовлетворяющая условиям

$$\tilde{\mathbf{h}}(\mathbf{x}) : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m, \quad (6)$$

$$\tilde{\mathbf{h}}(\tilde{\mathbf{x}}(\mathbf{x}^0, t)) \in U, \quad (7)$$

$$\int_0^{t_f} f_0(\tilde{\mathbf{x}}(\mathbf{x}^0, t), \tilde{\mathbf{h}}(\tilde{\mathbf{x}}(\mathbf{x}^0, t))) dt = \min_{\mathbf{u} \in U} \int_0^{t_f} f_0(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) dt, \quad (8)$$

$\tilde{\mathbf{x}}(\mathbf{x}^0, t)$ — решение системы

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{h}}(\mathbf{x})), \quad (9)$$

при начальных условиях $\forall \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}^0 \in X_0$.

Для решения задачи синтеза (1)—(8) можно использовать численный метод сетевого оператора, подробно описанный в работах [5—10]. Метод обеспечивает поиск решения в форме (5) по критерию оптимизации (4) и терминальным условиям (3).

Если искать решение для одного конкретного начального значения

$$\mathbf{x}(0) = \mathbf{x}^0 \quad (10)$$

в виде функции времени

$$\tilde{\mathbf{u}}(\cdot) = \left(\tilde{\mathbf{u}}(t) : t \in [0, t_f] \right), \quad (11)$$

то получим задачу оптимального управления (1), (3), (4), (10), (11).

После решения задачи оптимального управления для начального значения $\mathbf{x}^0 \in X_0$ решение $\tilde{\mathbf{x}}(t)$ системы уравнений

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{u}}(t)), \quad (12)$$

должно совпадать с решением $\tilde{\mathbf{x}}(\mathbf{x}^0, t)$ системы уравнений (9)

$$\tilde{\mathbf{x}}(\mathbf{x}^0, t) = \tilde{\mathbf{x}}(t). \quad (13)$$

Неудовлетворение условия (13) говорит о том, что найденная в результате решения задачи синтеза функция $\tilde{\mathbf{h}}(\mathbf{x})$ не позволяет получать оптимальные траектории движения объекта управления, т.е. не удовлетворяет условию (8).

Для получения решения, учитывающего условие (13) близости к оптимальному решению, задачу синтеза управления решаем в два этапа. На первом этапе решаем задачи оптимального управления для множества начальных значений из заданной области (2). Сохраняем множество точек оптимальных траекторий и оптимальных значений управления. На втором этапе решаем задачу аппроксимации множества полученных точек многомерной функцией методом сетевого оператора.

Опишем формальные соотношения двухэтапного синтеза системы управления.

Заменим множество начальных условий конечным множеством точек

$$\bar{X}_0 = \{ \mathbf{x}^{0,i} \in X_0 : i = \overline{1, M} \}. \quad (14)$$

Решаем M задач оптимального управления для каждого начального значения из (14), и сохраняем множество точек оптимальных траекторий

$$T_i = \left\{ \left(t_0, \tilde{\mathbf{x}}^i(t_0), \tilde{\mathbf{u}}^i(t_0) \right), \left(t_1, \tilde{\mathbf{x}}^i(t_1), \tilde{\mathbf{u}}^i(t_1) \right), \dots, \left(t_K, \tilde{\mathbf{x}}^i(t_K), \tilde{\mathbf{u}}^i(t_K) \right) \right\}, \quad (15)$$

где $i = \overline{1, M}$, $t_j = j\Delta t$, $j = \overline{0, K}$, Δt — шаг дискретизации.

На первом этапе решения задачи оптимального управления используем вариационный генетический алгоритм многокритериальной оптимизации [12].

На втором этапе решаем задачу аппроксимации точек (15) многомерной функцией. Для решения задачи используем метод сетевого оператора и критерий качества аппроксимации

$$J = \sum_{i=1}^M \sqrt{\sum_{j=0}^K \left(\tilde{\mathbf{u}}^i(t_j) - \mathbf{h}(\tilde{\mathbf{x}}^i(t_j)) \right)^2} \rightarrow \min. \quad (17)$$

В качестве примера используем рассмотренный метод для решения задачи синтеза системы управления спуском космического аппарата (КА) на поверхность Луны [11].

Модель объекта управления описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{dV}{dt} = W \cos(u_1 - \theta) - g \cos \theta, \quad (18)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{V} (W \sin(u_1 - \theta) + g \sin \theta), \quad (19)$$

$$\frac{dh}{dt} = V \cos \theta, \quad (20)$$

$$\frac{dL}{dt} = V \sin \theta, \quad (21)$$

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{P_0 + u_2}{P_{ud}}, \quad (22)$$

$$W = \frac{\tilde{g}P}{m}, \quad g = g_0 \left(\frac{R_0}{R_0 + h} \right)^2, \quad R = R_0 + h,$$

где V — модуль скорости движения космического аппарата; W — ускорение, создаваемое тягой двигателя торможения; θ — угол наклона траектории относительно гравитационной вертикали; h — высота полета КА; R — модуль радиус-вектора от центра Луны до космического аппарата; R_0 — средний радиус поверхности Луны; L — дальность вдоль поверхности; m — масса КА; P — тяга коррекционно-тормозного двигателя (Н); P_{ud} — удельный импульс коррекционно-тормозного двигателя (м/с); g_0 — гравитационное ускорение свободного падения на поверхности Луны; $R_0 = 1738,4$ км; $P_0 = 440$ кг; $P_{ud} = 319$ с; $g_0 = 1,623$ м/с²; $\tilde{g} = 9,80665$ м/с².

Заданы области начальных значений

$$V(0) = V_0, \quad \theta(0) = \theta_0, \quad h(0) \in [h_0^-, h_0^+], \quad \varphi(0) = \varphi_0, \quad m(0) = m_0, \quad (23)$$

где θ_0^- , θ_0^+ — наименьшее и наибольшее начальные значения угла наклона траектории; h_0^- , h_0^+ — наименьшее и наибольшее значения начальной высоты.

Заданы терминальные условия:

$$V(t_f) \in [V_f^-, V_f^+], \quad h(t_f) \in [h_f^-, h_f^+], \quad (24)$$

$$t_f = \begin{cases} t, & \text{если } (V(t) \in [V_f^-, V_f^+]) \wedge (h(t) \in [h_f^-, h_f^+]) \\ t^+ & \text{— иначе} \end{cases}, \quad (25)$$

где V_f^- , V_f^+ — наименьшее и наибольшее терминальные значения модуля скорости; h_f^- , h_f^+ — наименьшее и наибольшее терминальные значения высоты; t^+ — максимальное время полета.

Значения компонент управления ограничены

$$u_1 \in [u_1^-, u_1^+], \quad u_2 \in [u_2^-, u_2^+], \quad (26)$$

где u_i^- , u_i^+ — наименьшее и наибольшее значения компоненты управления u_i , $i = 1, 2$.

Заданы терминальные условия:

$$\left(V(t_f) - \frac{V_f^- + V_f^+}{2} \right)^2 = 0, \quad (27)$$

$$\left(h(t_f) - \frac{h_f^- + h_f^+}{2} \right)^2 = 0. \quad (28)$$

Заданы критерии качества управления:

$$J_1 = \alpha \left| L_f - L(t_f) \right| + \left| h_f^- + h_f^+ - 2h(t_f) \right| \rightarrow \min, \quad (29)$$

$$J_2 = \left| V_f - V(t_f) \right| \rightarrow \min, \quad (30)$$

где α — весовой коэффициент; L_f — заданное терминальное значение дальности.

При решении задачи непрерывные интервалы начальных значений были заменены множествами точек

$$\left[h_0^-, h_0^+ \right]^T \rightarrow \{h_{0,0}, h_{0,1}, \dots, h_{0,k_h}\}, \quad (31)$$

$$\text{где} \quad h_{0,j} = h_0^- + j\Delta h_0, \quad (32)$$

где Δh_0 — величины приращений по углу наклона траектории и высоте.

В вычислительном эксперименте были использованы следующие параметры модели: $V(0) = 1689$ м/с, $\theta_0 = 1,6$ рад, $h_0^- = 16,648$ км, $h_0^+ = 19,648$ км, $\varphi(0) = 0$ рад, $m(0) = 940$ кг, $u_1^- = 0$ рад, $u_1^+ = 3,14159265$ рад, $u_2^- = -80$ кг, $u_2^+ = +80$ кг,

$V_f^- = 0$ м/с, $V_f^+ = +5$ м/с, $h_f^- = 1,2$ км, $h_f^+ = 1,8$ км, $L_f = -240$ км, $\Delta\theta_0 = 0,05$ рад, $\Delta h_0 = 1,5$ км, $k_h = 2$, $\alpha = 0,1$.

На первом этапе была решена задача оптимального управления для различных начальных значений, определенных соотношениями (30)—(33). Решение задачи осуществляли численно методом вариационного генетического алгоритма [12]. Для каждого оптимального решения были сохранены множества точек оптимального управления и оптимальных траекторий (15).

На втором этапе по критерию (17) была решена задача синтеза системы управления методом сетевого оператора [5—10].

Для синтеза методом сетевого оператора было выбрано следующее базисное решение

$$u_i = \begin{cases} u_i^-, & \text{если } u_i \leq u_i^- \\ u_i^+, & \text{если } u_i \geq u_i^+, \quad i = 1, 2, \\ \tilde{u}_i & \text{— иначе} \end{cases}$$

где

$$\begin{aligned} \tilde{u}_1 &= q_1^0 (\pi + \theta) + \frac{q_2^0}{h} (h_f - h) \vartheta(h_f - h), \\ \tilde{u}_2 &= -q_3^0 \theta \cos \theta, \quad \bar{h} = \frac{h_0^- + h_0^+}{2}, \quad \vartheta(A) = \begin{cases} 1, & \text{если } A \geq 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \\ \pi &= 3,14159265, \quad q_1^0 = 1, \quad q_2^0 = 1, \quad q_3^0 = 1. \end{aligned}$$

В результате синтеза было получено следующее управление:

$$\begin{aligned} \tilde{u}_1 &= \sqrt[3]{A} + \operatorname{sgn}(B) \ln(|B| + 1) + \frac{1}{C} + \frac{1 - e^{-q_3 \theta}}{1 + e^{-q_3 \theta}} + \vartheta(D), \\ \tilde{u}_2 &= u_1 - u_1^3 + e^B - q_3 \theta \cos(\theta) + \vartheta(q_3 \theta) - q_2, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A &= \operatorname{sgn}(z_{11}) (e^{|z_{11}|} - 1) + z_{10} + \frac{(h_f - h)}{\bar{h}}, \\ B &= \frac{e^{-q_3 \theta \cos(\theta)}}{q_2} \mu(z_9) \operatorname{sgn}(E) (e^{|E|} - 1), \\ C &= E q_2^2 \left(\operatorname{sgn}(E) \sqrt{|E|} + q_2 + \frac{(h_f - h)}{\bar{h}} + (\theta + \pi) - (\theta + \pi)^3 \right) \\ D &= \operatorname{sgn}(E) \sqrt{|E|} + q_2 + \frac{(h_f - h)}{\bar{h}} + (\theta + \pi) - (\theta + \pi)^3, \\ E &= \frac{1 - e^{-q_2}}{1 + e^{-q_2}} q_1 (\theta + \pi), \quad q_1 = 4,008, \quad q_2 = 6,927, \quad q_3 = 12,07. \end{aligned}$$

На рис. 1—3 приведены результаты моделирования полученной системы управления. На рисунках представлены графики изменения основных переменных модели, используемых в критериях качества при решении задачи оптимального управления, V , h и L , для различных начальных значений. На этих же графиках приведены точками оптимальные траектории, полученные в результате численного решения задачи оптимального управления.

Графики на рис. 1—3 получены при следующих начальных значениях: а — $h(0) = 16,648$ км, б — $h(0) = 19,648$ км.

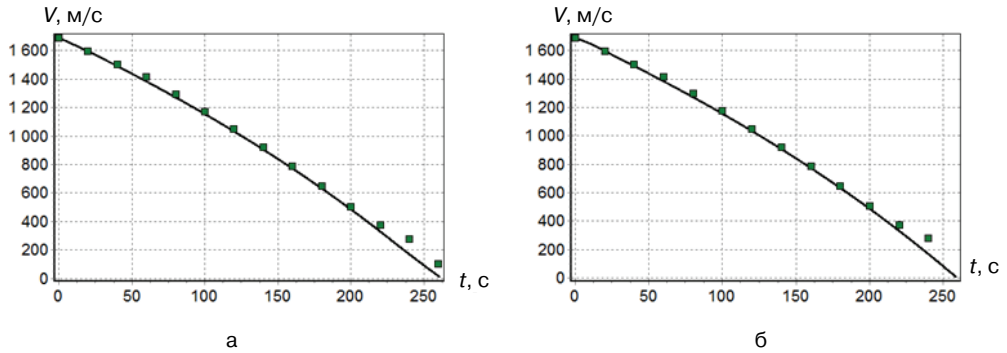


Рис. 1. Скорость КА.

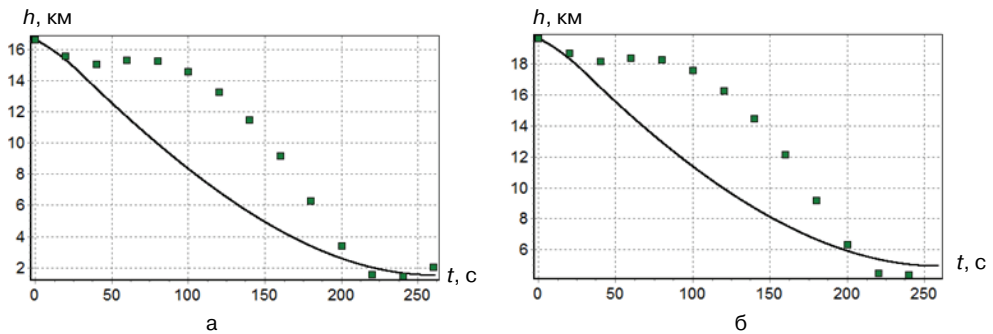


Рис. 2. Высота полета КА

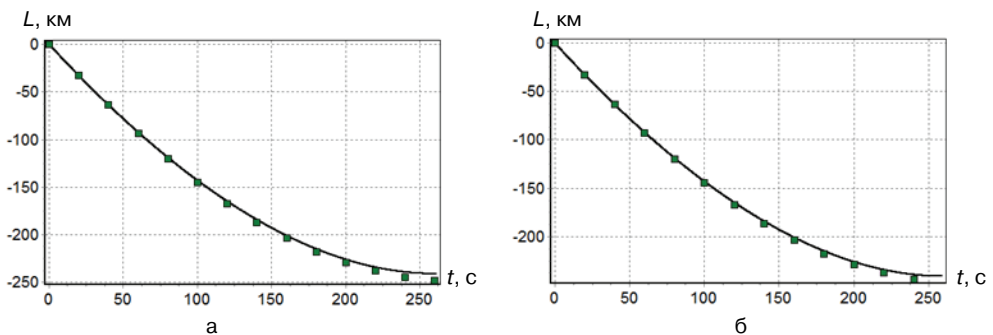


Рис. 3. Дальность полета КА

Из результатов моделирования видно, что полученная система управления обеспечивает движение вблизи оптимальных траекторий по скорости и дальности полета. Наибольшее отличие от оптимальной траектории наблюдается по изменению высоты. Несмотря на то, что отклонение от оптимальной траектории по высоте достигало 6 км, терминальные условия выполняются достаточно точно: при $h(0) = 16,648$ км, $V(t_f) = 5,27$ м/с, $h(t_f) = 1,758$ км, $L(t_f) = -240,986$ км, при $h(0) = 19,648$ км, $V(t_f) = 5,45$ м/с, $h(t_f) = 4,931$ км, $L(t_f) = -240,955$ км.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Koza J.R., Keane M.A., Rice J.P.* Performance improvement of machine learning via automatic discovery of facilitating functions as applied to a problem of symbolic system identification // IEEE International Conference on Neural Networks I. 1993. San Francisco, USA. 1993. P. 191—198.
- [2] *Bourmistrova A., Khantsis S.* Control System Design Optimization via Genetic Programming in Proc. of IEEE Congress on Evolutionary Computation, Singapore, 2007, P. 1993—2000.
- [3] *O'Neill M., Ryan C., Keijzer M., Cattolico M.* Crossover in Grammatical Evolution, Genetic Programming and Evolvable Machines 4(1), 2003, P. 67—93.
- [4] *Zelinka I., Nolle L., Oplatkova Z.* Analytic Programming —Symbolic Regression by Means of Arbitrary Evolutionary Algorithms // Journal of Simulation. 2012. Vol. 6, N 9. P. 44—56.
- [5] *Дивеев А.И.* Метод сетевого оператора. — М.: ВЦ РАН, 2010. — 178 с. [*Diveev A.I.* Metod setevogo operatora. — М.: VTs RAN, 2010. — 178 s.]
- [6] *Дивеев А.И.* Численный метод сетевого оператора для синтеза системы управления с неопределенными начальными значениями // Известия РАН ТИСУ. — 2012. — № 2. — С. 63—78. [*Diveev A.I.* Chislennyi metod setevogo operatora dlia sinteza sistemy upravleniya s neopredelennymi nachalnymi znacheniami // Izvestia RAN TiSU. — 2012. — № 2. — S. 63—78.]
- [7] *Дивеев А.И., Софронова Е.А.* Метод сетевого оператора и его применение в задачах управления. — М.: Изд-во РУДН, 2012. — 182 с. [*Diveev A.I., Sofronova E.A.* Metod setevogo operatora i ego primenenie v zadachah upravleniya. — М.: Izd-vo RUDN, 2012. — 182 s.]
- [8] *Дивеев А.И., Пупков К.А., Софронова Е.А.* Повышение качества систем управления на основе многокритериального синтеза методом сетевого оператора // Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования». — 2009. — № 4. — С. 5—12. [*Diveev A.I., Pupkov K.A., Sofronova E.A.* Povyshenie kachestva system upravleniya na osnove mnogokriterialnogo sinteza metodom setevogo operatora // Vestnik RUDN. Seria «Ingenerye issledovania». — 2009. — № 4. — S. 5—12.]
- [9] *Diveev A.I., Sofronova E.A.* Application of network operator method for synthesis of optimal structure and parameters of automatic control system // Proceedings of 17-th IFAC World Congress, Seoul, 2008, 05.07.2008—12.07.2008. P. 6106—6113.
- [10] *Diveev A.I., Sofronova E.A.* The Network Operator Method for Search of the Most Suitable Mathematical Equation. Chapter in the book Bio-Inspired Computational Algorithms and Their Applications / Edited by Shangce Gao. Intech. Printed 2012. February, Croatia. P. 19—42.
- [11] *Дивеев А.И., Пупков К.А., Софронова Е.А.* Синтез управления спуском космического аппарата на поверхность Луны методом сетевого оператора // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». — 2013. — № 4. — С. 14—29. [*Diveev A.I., Pupkov K.A., Sofronova E.A.* Sintez upravleniya spuskom kosmicheskogo apparata na poverkhnost Luny metodom setevogo operatora // Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. «Priborostroenie». — 2013. — № 4. — S. 14—29.]

- [12] *Дивеев А.И., Шмалько Е.Ю. Вариационный генетический алгоритм для решения задачи оптимального управления // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 1; URL: <http://www.science-education.ru/115-11474>. [Diveev A.I., Shmalko E.Yu. Variatsionnyi geneticheski algorithm dlia reshenia zadachi optimalnogo upravlenia // Sovremennye problem nauki i obrazovania. — 2014. — № 1; URL: <http://www.science-education.ru/115-11474>.]*

TWO-STAGE SYNTHESIS OF CONTROL SYSTEM BY THE NETWORK OPERATOR METHOD

A.I. Diveev¹, E.Yu. Shmalko¹

¹*Dorodnicyn Computer Center of Russian Academy of Sciences
Vavilov str., 40, Moscow, Russia, 119333*

The paper focuses on the problem of control system synthesis and a numerical method of the network operator is proposed to search a solution. Apart from a well-known approach when the stated control synthesis problem is solved directly by the method of network operator considering given criteria and terminal conditions, the present paper describes a two-stage synthesis. The first stage is supposed to solve numerically a set of optimal control tasks for different initial values from some given space. The second stage makes an approximation of the previously received optimal trajectories by means of the network operator. An example illustrates the two-stage synthesis of a control system for a spaceship descent to the Moon.

Key words: control system synthesis, optimal control, genetic algorithm, method of network operator, spaceship control.

ДВУОСНОЕ РАСТЯЖЕНИЕ ПЛАСТИНЫ С КРУГОВЫМ ОТВЕРСТИЕМ

Е.В. Макаров¹, И.А. Монахов², И.В. Нефедова¹

¹Кафедра прикладной математики
Механико-технологический факультет
Московский университет машиностроения (МАМИ)
ул. Б. Семёновская, 38, Москва, Россия, 107023

²Кафедра промышленное и гражданское строительство
Механико-технологический факультет
Московский университет машиностроения (МАМИ)
ул. Б. Семёновская, 38, Москва, Россия, 107023

В работе приведено решение задачи о напряженно-деформированном состоянии пластины при двuosном растяжении в случае, когда отверстие свободно от нагрузок, и в случае, когда отверстие нагружено вложенной в него или впаянной жесткой шайбой.

Ключевые слова: пластина, смещение, упругость.

I. Пластина с круговым радиуса R отверстием (рис. 1), края которого свободны от внешних напряжений, растягивается по оси Ox напряжением, равным на бесконечности постоянной величине p_1 , а по оси Oy — напряжением p_2 , т.е.

$$x_x^\infty = p_1; \quad y_y^\infty = p_2; \quad x_y^\infty = 0. \quad (1)$$

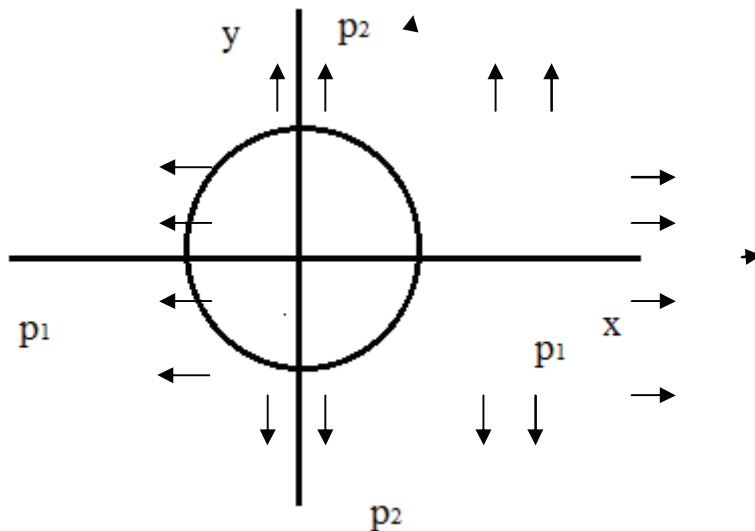


Рис. 1. Пластина с круговым отверстием

В [1] показано, что решение краевых задач плоской теории упругости для области S сводится к отысканию в этой области двух аналитических функций $\varphi(z)$

и $\psi(z)$, связанных на ее границе краевым условием. Для бесконечной области S с круговым отверстием функции $\phi(z)$ и $\psi(z)$ допускают разложение в степенные ряды в виде

$$\Phi(z) = \phi'(z) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k z^{-k}; \quad (2)$$

$$\Psi(z) = \psi'(z) = \sum_{k=0}^{\infty} a'_k z^{-k}.$$

Используя (1) и (2), известной процедурой [2] получаем значения коэффициентов a_k и a'_k :

$$a_0 = \frac{p_1 + p_2}{4}; \quad a_1 = 0; \quad a_2 = -\frac{p_1 - p_2}{4} R^2; \quad a_n = 0 \quad (n \geq 3); \quad (3)$$

$$a'_0 = -\frac{p_1 - p_2}{2}; \quad a'_1 = 0; \quad a'_2 = -\frac{p_1 + p_2}{2} R^2; \quad a'_3 = 0;$$

$$a'_4 = -\frac{3(p_1 - p_2)}{2} R^4; \quad a'_n = 0 \quad (n \geq 5).$$

Таким образом, функции (2) принимают вид

$$\begin{aligned} \Phi(z) &= \frac{p_1 + p_2}{4} - \frac{p_1 - p_2}{2} R^2 z^{-2}; \\ \Psi(z) &= -\frac{p_1 - p_2}{2} + \frac{p_1 + p_2}{2} R^2 z^{-2} - \frac{3(p_1 - p_2)}{2} R^4 z^{-4}. \end{aligned} \quad (4)$$

Формулы (4) дают решение поставленной задачи.

1. Напряженное состояние.

Для нахождения компонентов напряженного состояния в полярных координатах воспользуемся формулами Г.В. Колосова, Н.И. Мухелишвили [1], где положим $z = Re^{i\theta}$; $\bar{z} = Re^{-i\theta}$:

$$\begin{cases} \sigma_r + \sigma_\theta = 4Re\Phi(z) = p_1 + p_2 - 2(p_1 - p_2) \frac{R^2}{r^2} e^{-2i\theta} \\ \sigma_\theta - \sigma_r + 2i\tau_{r\theta} = 2[\bar{z}\Phi'(z) + \Psi(z)]e^{2i\theta} = \\ = \left[2\frac{R^2}{r^2}(p_1 - p_2) - 3(p_1 - p_2)\frac{R^4}{r^4} \right] e^{-2i\theta} - (p_1 - p_2)e^{2i\theta} + (p_1 + p_2)\frac{R^2}{r^2}. \end{cases} \quad (5)$$

Отделяя в (5) действительные и мнимые части, получим

$$\begin{cases} \sigma_r + \sigma_\theta = p_1 + p_2 - 2(p_1 - p_2) \frac{R^2}{r^2} \cos 2\theta \\ \sigma_\theta - \sigma_r = -(p_1 - p_2) \left(\frac{R^2}{r^2} - 3\frac{R^4}{r^4} - 1 \right) \cos 2\theta + (p_1 + p_2) \frac{R^2}{r^2} \\ 2\tau_{r\theta} = -(p_1 - p_2) \left(1 + 2\frac{R^2}{r^2} - 3\frac{R^4}{r^4} \right) \sin 2\theta. \end{cases} \quad (6)$$

Откуда окончательно найдем

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \frac{p_1 + p_2}{2} \left(1 - \frac{R^2}{r^2} \right) + \frac{p_1 - p_2}{2} \left(1 - 4 \frac{R^2}{r^2} + 3 \frac{R^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \\ \sigma_\theta &= \frac{p_1 + p_2}{2} \left(1 + \frac{R^2}{r^2} \right) - \frac{p_1 - p_2}{2} \left(1 + 3 \frac{R^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \\ \tau_{r\theta} &= \frac{p_1 - p_2}{2} \left(1 + 2 \frac{R^2}{r^2} - 3 \frac{R^4}{r^4} \right) \sin 2\theta.\end{aligned}\tag{7}$$

Определим напряженное состояние на контуре отверстия, положив $r = R$:

$$\sigma_r = \tau_{r\theta} = 0; \quad \sigma_\theta = p_1 + p_2 - 2(p_1 - p_2) \cos 2\theta,\tag{8}$$

т.е. экстремальные значения окружного напряжения σ_θ достигаются в точках контура, соответствующих следующим значениям полярного угла:

$$\theta_1 = 0; \quad \theta_2 = \frac{\pi}{2}; \quad \theta_3 = \pi; \quad \theta_4 = -\frac{\pi}{2}.$$

Для более точного анализа нужно знать соотношения между напряжениями p_1 и p_2 .

2. Смещения.

Для определения смещений в полярных координатах воспользуемся формулой Колосова—Мухелишвили [1], где положим $z = re^{i\theta}$; $\bar{z} = re^{-i\theta}$

$$2\mu(v_r + iv_\theta) = e^{-i\theta} [\kappa \varphi(z) - z\overline{\varphi'(z)} - \overline{\psi(z)}],\tag{9}$$

где $\kappa = \frac{\lambda + 3\mu}{\lambda + \mu}$; λ и μ — упругие постоянные Ламе.

Найдем сначала из (2) и (4):

$$\begin{aligned}\varphi(z) &= \int \Phi(z) dz \quad \text{и} \quad \psi(z) = \int \Psi(z) dz : \\ \varphi(z) &= \frac{p_1 + p_2}{4} r e^{i\theta} + \frac{p_1 - p_2}{2} \frac{R^2}{r} e^{-i\theta} \\ \psi(z) &= -\frac{p_1 - p_2}{2} r e^{i\theta} - \frac{p_1 + p_2}{2} \frac{R^2}{r} e^{-i\theta} + \frac{p_1 - p_2}{2} \frac{R^4}{r^3} e^{-3i\theta}.\end{aligned}\tag{10}$$

Подставляем (10) в (9), получим

$$\begin{aligned}2\mu(v_r + iv_\theta) &= (\kappa - 1) \frac{p_1 + p_2}{4} r + \frac{p_1 + p_2}{2} \frac{R^2}{r} + \\ &+ \frac{p_1 - p_2}{2} (\kappa \frac{R^2}{r} + r) e^{-2i\theta} + \frac{p_1 - p_2}{2} \left(\frac{R^2}{r} - \frac{R^4}{r^3} \right) e^{2i\theta}.\end{aligned}$$

Отделяя в последнем выражении действительную и мнимую части, находим выражения для смещений:

$$\begin{cases} v_r = \frac{1}{4\mu} \left\{ (\kappa-1) \frac{p_1 + p_2}{2} r + (p_1 + p_2) \frac{R^2}{r} + (p_1 - p_2) \left[\frac{R^2}{r} (\kappa+1) + r - \frac{R^4}{r^3} \right] \cos 2\theta \right\} \\ v_\theta = -\frac{p_1 - p_2}{4\mu} \left((\kappa-1) \frac{R^2}{r} + r + \frac{R^4}{r^3} \right) \sin 2\theta. \end{cases} \quad (11)$$

Если положить $p_2 = 0$ или $p_1 = p_2$, то это будет соответствовать задачам, рассмотренным в [1], об одностороннем растяжении и всестороннем растяжении пластины, ослабленной круговым отверстием. Результаты, приведенные в [1], получаются из (7) и (11), что может свидетельствовать о правильном получении решения.

II. Предположим, что в отверстие пластины, рассмотренной в I, вложена жесткая шайба, спаянная с окружающей ее пластиной вдоль контура L . Это значит, что и окружные, и радиальные смещения на контуре отсутствуют, т.е.

$$v_r = 0; \quad v_\theta = 0 \quad \text{при } r = R. \quad (12)$$

Будем искать решение задачи в виде (10) с неопределенными действительными коэффициентами β, γ, δ :

$$\begin{aligned} \varphi(z) &= \frac{p_1 + p_2}{4} r e^{i\theta} + \frac{p_1 - p_2}{2} \frac{\beta R^2}{r} e^{-i\theta}, \\ \psi(z) &= -\frac{p_1 - p_2}{2} r e^{i\theta} - \frac{p_1 + p_2}{2} \frac{R^2}{r} \gamma e^{-i\theta} + \frac{p_1 - p_2}{2} \frac{R^4}{r^3} \delta e^{-3i\theta}. \end{aligned} \quad (13)$$

Подставляя (13) в (9), получим

$$\begin{aligned} 2\mu(v_r + iv_\theta) &= (\kappa - 1) r \frac{p_1 + p_2}{4} + \frac{p_1 + p_2}{2} \frac{R^2}{r} \gamma + \\ &+ \frac{p_1 - p_2}{2} \left(\frac{R^2}{r} \beta \kappa + r \right) e^{-2i\theta} + \frac{p_1 - p_2}{2} \left(\frac{R^2}{r} \beta - \frac{R^4}{r^3} \delta \right) e^{2i\theta}. \end{aligned}$$

Отделяя действительную и мнимую части в последнем, находим выражения для смещений:

$$\begin{cases} v_r = \frac{1}{4\mu} \left\{ (\kappa-1) \frac{p_1 + p_2}{2} r + (p_1 + p_2) \frac{R^2}{r} \gamma + \right. \\ \quad \left. + (p_1 - p_2) \left[\frac{R^2}{r} (\kappa+1) \beta + r - \frac{R^4}{r^3} \delta \right] \right\} \cos 2\theta. \\ v_\theta = -\frac{p_1 - p_2}{4\mu} \left((\kappa-1) \frac{R^2}{r} \beta + r + \frac{R^4}{r^3} \delta \right) \sin 2\theta. \end{cases} \quad (14)$$

Удовлетворяя граничным условиям (12), получим

$$\begin{cases} (\kappa - 1) \frac{p_1 + p_2}{2} R + (p_1 + p_2) R \gamma + (p_1 - p_2) [R(\kappa + 1)\beta + R - R\delta] = 0 \\ (\kappa - 1) R \beta + R + R\delta = 0, \end{cases}$$

откуда находим систему уравнений для определения коэффициентов β , γ , δ :

$$\begin{cases} (\kappa - 1) + 2\gamma = 0, \\ (\kappa + 1)\beta + 1 - \delta = 0, \\ (\kappa - 1)\beta + 1 + \delta = 0. \end{cases}$$

Таким образом,

$$\beta = -\frac{1}{\kappa}; \quad \gamma = -\frac{\kappa - 1}{2}; \quad \delta = -\frac{1}{\kappa}. \quad (15)$$

Для определения напряженного состояния нам понадобятся функции $\Phi(z)$ и $\Psi(z)$, которые найдем из (13):

$$\begin{aligned} \Phi(z) = \varphi'(z) &= \frac{p_1 + p_2}{4} - \frac{p_1 - p_2}{2} \frac{R^2}{r^2} \beta e^{-2i\theta}, \\ \Psi(z) = \psi'(z) &= -\frac{p_1 - p_2}{2} + \frac{p_1 + p_2}{2} = \gamma \frac{R^2}{r^2} e^{-2i\theta} - \frac{3(p_1 - p_2)}{2} \frac{R^4}{r^4} \delta e^{-4i\theta}. \end{aligned} \quad (16)$$

Далее по процедуре, аналогичной описанной в формуле (10), находим компоненты напряженного состояния

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{p_1 + p_2}{2} \left(1 - \frac{R^2}{r^2} \gamma \right) + \frac{p_1 - p_2}{2} \left(1 - 4\delta \frac{R^2}{r^2} + 3\delta \frac{R^4}{r^4} \right) \cos 2\theta, \\ \sigma_\theta &= \frac{p_1 + p_2}{2} \left(1 + \frac{R^2}{r^2} \gamma \right) - \frac{p_1 - p_2}{2} \left(1 + 3\delta \frac{R^4}{r^4} \right) \cos 2\theta, \\ \tau_{r\theta} &= -\frac{p_1 - p_2}{2} \left(1 + 2\beta \frac{R^2}{r^2} - 3\delta \frac{R^4}{r^4} \right) \sin 2\theta. \end{aligned} \quad (17)$$

Если в формулы (17) подставить (15) и $p_2 = 0$, то результаты совпадут с решением Н.И. Мухелишвили [1] задачи об одномерном растяжении пластины с впадной жесткой шайбой.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Мухелишвили Н.И.* Некоторые основы задачи математической упругости. — 4-е изд. — М.: Изд. АН СССР, 1954. [*Musheshvili N.I.* Nekotorye osnovy zadathi matematicheskoj uprugosti. — 4-e izd. — М.: Izd. AN SSSR, 1954.]
- [2] *Макаров Е.В.* Основы математической теории упругости. — М.: МГОУ, 2007. [*Makarov E.V.* Osnovy matematicheskoj teorii uprugosti. — М.: MGOU, 2007.]

BIAXIAL STRETCHING OF THE PLATE A CIRCULAR HOLE

E.V. Makarov¹, I.A. Monakhov², I.V. Nefedova¹

¹Department of Applied Mathematics
Mechanics and Technology Faculty
Moscow State Machine-building University
B. Semyonovskaya str., 38, Moscow, Russia, 107023

²Department of Building production manufacture
Mechanics and Technology Faculty
Moscow State Machine- building University (MAMI)
B. Semyonovskaya str., 38, Moscow, Russia, 107023

The paper presents the solution of the problem of stress-strain state of the plate under biaxial stretching in the case where the hole is free of loads and when the hole is loaded embedded in it or soldered rigid washer.

Key words: plate, offset, elasticity.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БАЛКИ С ОДНОЙ ЗАЩЕМЛЕННОЙ И ДРУГОЙ ШАРНИРНО НЕПОДВИЖНОЙ ОПОРАМИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СОЧЕТАНИЯ НАГРУЗОК

И.А. Монахов¹, Ю.К. Басов²

¹Кафедра промышленного и гражданского строительства
Механико-технологический факультет
Московский государственный машиностроительный университет
ул. Павла Корчагина, 22, Москва, Россия, 129626

²Кафедра строительных конструкций и сооружений
Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

В статье разработана методика решения задач о малых прогибах балок из идеального жесткопластического материала при действии локально распределенной нагрузки и опорных моментов с учетом предварительного растяжения-сжатия. Разработанная методика применена для исследования напряженно-деформированного состояния однопролетных балок, а также для вычисления предельной нагрузки балок.

Ключевые слова: балка, нелинейность, аналитическое.

В современном строительстве и в других отраслях промышленности наиболее распространенными видами конструкций являются стержневые, и в частности балочные. Для определения реального поведения стержневых систем (в частности, балок) и ресурсов их прочности необходим учет пластических деформаций.

Расчет конструкций при учете пластических деформаций с помощью модели идеального жесткопластического тела является наиболее простым, с одной стороны, и достаточно приемлемым с точки зрения требований практики проектирования — с другой. Если иметь в виду область малых перемещений конструктивных систем, то это объясняется тем, что несущая способность (предельная нагрузка) идеальных жесткопластических и упругопластических систем оказывается одной и той же.

В данной статье рассматриваются малые прогибы. Подобные задачи решались в работах [1; 2].

Рассматривается балка с одной защемленной и другой шарнирно неподвижной опорами под действием локально распределенной нагрузки, краевых моментов и предварительно приложенной продольной силы (рис. 1).

Уравнение равновесия балки при больших прогибах в безразмерной форме имеет вид:

$$\frac{d^2 m}{dx^2} + (n \pm n_1) \frac{d^2 w}{dx^2} + p = 0, \quad \frac{dn}{dx} = 0, \quad (1)$$

где $x = \frac{\bar{x}}{l}$; $w = \frac{2\bar{w}}{h}$; $p = \frac{\bar{p}l^2}{\delta_s bh^2}$; $m = \frac{M}{\delta_s bh^2}$; $n = \frac{N}{2\delta_s bh}$; N и M — внутренние нормальная сила и изгибающий момент; \bar{p} — поперечная равномерно распределенная нагрузка; \bar{w} — прогиб; \bar{x} — продольная координата (начало координат на левой опоре); $2h$ — высота поперечного сечения; b — ширина поперечного сечения; $2l$ — пролет балки; δ_s — предел текучести материала.

Если N_1 задано, то усилие N является следствием действия \bar{p} при имеющихся прогибах, $l_1 = \frac{\bar{l}_1}{l}$, черта над буквами означает размерность величин.

Рассмотрим малые прогибы.

При «малых» прогибах (равных нулю) образуются пластические сечения: при $x = x_2$ и на одной опоре. В сечении $x = x_2$ момент равен $m = 1 - n_1^2$, на защемленной опоре $m = 1 - n_1^2 \pm \alpha$, где α — значение опорного момента (знаки «+» и «-» соответствуют положительным и отрицательным значениям). Поскольку скорость изменения кривизны равна нулю, то скорости прогибов в зонах и $x_2 \leq x \leq 2$ равны

$$\dot{w} = \begin{cases} \frac{w_0}{2-x_2} \end{cases} (2-x) \text{ при } x \geq x_2, \quad \dot{w} = \begin{cases} \frac{w_0}{x_2} \end{cases} x \text{ при } x \leq x_2,$$

где w_0 прогиб при $x = x_2$, точки означают дифференцирование по времени, за которое принято p . В этом случае $w = 0$, $n = 0$.

Из уравнения равновесия (1) следуют выражения m по зонам:

$$m = \left(-pl_1 + \frac{pl_1^2}{4} + pl_2 - \frac{pl_2^2}{4} - \frac{1-n_1^2}{2} \right) x \pm \alpha, \quad (0 \leq x \leq l_1)$$

$$m = -\frac{px_2^2}{2} + \left(-\frac{pl_2^2}{4} + \frac{pl_1^2}{4} + pl_2 - \frac{1-n_1^2}{2} \right) x \pm \alpha - \frac{pl_2^2}{2}, \quad (l_1 \leq x \leq l_2)$$

$$m = \left(-\frac{1-n_1^2}{2} - \frac{pl_2^2}{4} - \frac{pl_1^2}{4} \right) x + \frac{pl_2^2}{2} - \frac{pl_1^2}{2} \pm \alpha, \quad (l_2 \leq x \leq 2)$$

Учитывая, что $Q = 0$ при $x = x_2$ получим:

$$\frac{dm}{dx} \Big|_{x=x_2} = -px + \left[pl_2 - \frac{pl_2^2}{4} + \frac{pl_1^2}{4} - \frac{1-n_1^2}{2} \right] = 0,$$

откуда следует, что $x_2 = l_2 - \frac{l_2^2}{4} + \frac{l_1^2}{4} - \frac{(1-n_1^2)}{2p}$.

Учитывая условие пластичности, получаем формулы для определения изгибающего момента и предельной нагрузки:

$$m|_{x=x_2} = 1 - n_1^2 = -\frac{p}{2} \left[l_2 - \frac{l_2^2}{4} + \frac{l_1^2}{4} - \frac{1 - n_1^2}{2p} \right]^2 + p \left[l_2 - \frac{l_2^2}{4} + \frac{l_1^2}{4} - \frac{1 - n_1^2}{2p} \right] - \frac{pl_1^2}{2} \pm \alpha,$$

откуда

$$p = \frac{\left[(1 - n_1^2) \left(l_2 - \frac{l_2^2}{4} + \frac{l_1^2}{4} + 2 \right) \mp 2\alpha \right]}{2 \left[\left(l_2 - \frac{l_2^2}{4} + \frac{l_1^2}{4} \right) - l_1^2 \right]} + \sqrt{\frac{\left[(1 - n_1^2) \left(l_2 - \frac{l_2^2}{4} + \frac{l_1^2}{4} + 2 \right) \mp 2\alpha \right]^2 - (1 - n_1^2) \left[\left(l_2 - \frac{l_2^2}{4} + \frac{l_1^2}{4} \right) - l_1^2 \right]}{2 \left[\left(l_2 - \frac{l_2^2}{4} + \frac{l_1^2}{4} \right) - l_1^2 \right]}}. \quad (2)$$

Задавая изгибающий момент α от -1 до 1 , значение продольной силы n_1 от 0 до 1 и расстояния приложения локальной распределенной нагрузки, получим значения предельной нагрузки и изгибающего момента (рис. 1) по формуле (2). Численные результаты расчетов сведены в табл. 1—4.

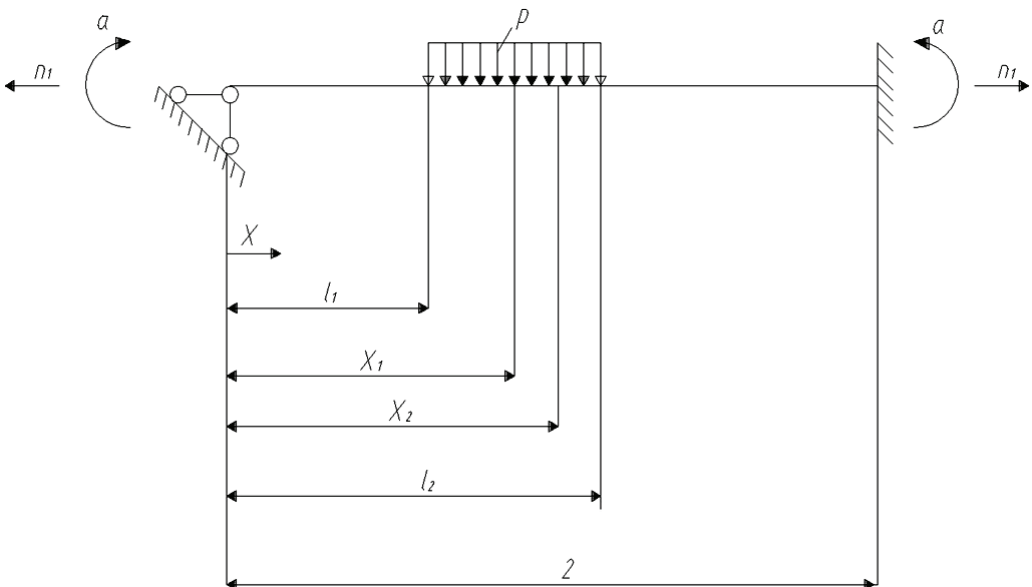


Рис. 1. Расчетная схема балки

Таблица 1

$$l_1 = 0,2 \quad l_2 = 0,4$$

n_1	α				
	-0,4	-0,2	0	0,6	0,8
0	32,63	28,50	24,35	11,86	7,61
0,2	31,66	27,52	23,37	10,87	6,59
0,4	28,73	24,58	20,44	7,89	3,39

Таблица 2

$$l_1 = 0,2 \quad l_2 = 1,6$$

n_1	α				
	-0,4	-0,2	0	0,6	0,8
0	4,12	3,67	3,21	1,81	1,31
0,2	3,99	3,53	3,08	1,67	1,16
0,4	3,59	3,14	2,68	1,25	0,61

Таблица 3

$$l_1 = 0,6 \quad l_2 = 1,6$$

n_1	α				
	-0,4	-0,2	0	0,6	0,8
0	5,12	4,57	4,02	2,35	1,76
0,2	4,96	4,41	3,86	2,18	1,58
0,4	4,46	3,92	3,37	1,66	1,02

Таблица 4

$$l_1 = 1,6 \quad l_2 = 1,8$$

n_1	α				
	-0,4	-0,2	0	0,6	0,8
0	45,66	41,53	37,39	24,97	20,83
0,2	44,16	40,03	35,89	23,47	19,32
0,4	39,67	35,53	31,40	18,97	14,81

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Басов Ю.К., Монахов И.А. Аналитические решения задачи о больших прогибах жестко-пластической защемленной балки под действием локальной распределенной нагрузки, опорных моментов и продольной силы // Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования». — 2012. — № 3. — С. 120—125. [Basov Yu.K., Monakhov I.A. Analiticheskoe reshenie zadachi o bolshih prigibah zhestkoplasticheskoy zashcemlennoj balki pod dejstviem lokalnij raspredelennoj nagruzki, oponyh momentov I prodolnoj sily // Vestnik RYDN. Seriya «Inzhenernye issledovaniya». — 2012. — № 3. — S. 120—125.]

- [2] Савченко Л.В., Монахов И.А. Большие проибы физически нелинейных круглых пластинок // Вестник Инжекона, серия: технические науки. — 2009. — Вып. 8 (35). — С. 132—134. [Savchenko L.V., Monakhov I.A. Bolshie progiby fizicheski nelinejnyh kruglyh plastinok // Vestnik INZHEKONA, seria: tehniczeskie nauki. — 2009. — Vyp. 8(35). — S. 132—134].

THE LITTLE DEFLECTIONS OF THE PREVIOUSLY INTENSE IDEAL PLASTIC BEAMS WITH THE REGIONAL MOMENTS AND LOAD DISTRIBUTION

I.A. Monakhov¹, U.K. Basov²

¹Department of Industry and civil engineering
Building Faculty
Moscow State Machine-building University
Pavla Korchagina str., 22, Moscow, Russia, 129626

²Department of Building Structures and Facilities
Engineering Faculty
Peoples' Friendship University of Russia
Ordzonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

In the work up the technique of the decision of problems about the little deflections of beams from ideal heard-plastic material, with various kinds of fastening, for want of action of the asymmetrically distributed loads with allowance for of preliminary stretching-compression is developed. The developed technique is applied for research of the strained-deformed condition of beams, and also for calculation of a deflection of beams with allowance for of geometrical nonlinearity.

Key words: beam, analytic, nonlinearity.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСТОГО ИЗГИБА БАЛКИ ИЗ РАЗНОМОДУЛЬНОГО АВИАЦИОННОГО МАТЕРИАЛА В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ*

Е.Б. Кузнецов, С.С. Леонов

Кафедра 803 «Дифференциальные уравнения»
Московский авиационный институт
(национального исследовательского университета) (МАИ)
Волоколамское шоссе, 4, Москва, Россия, 125993

В статье рассматривается решение задачи чистого изгиба балки прямоугольного сечения, изготовленной из авиационного сплава АК4-1Т с различными свойствами на растяжение и сжатие, при постоянной температуре, нагруженной постоянным изгибающим моментом. Данная конструкция исследуется на ползучесть и длительную прочность вплоть до начала разрушения с учетом всей картины перераспределения напряжений. Численный расчет задачи, описываемой системой обыкновенных дифференциальных уравнений, проводится с использованием уравнений энергетического варианта теории ползучести, а также метода продолжения решения по параметру и наилучшей параметризации, с применением четырех методов численного интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений: Эйлера, Эйлера—Коши, Рунге—Кутта и Адамса четвертого порядка точности. Приводится сравнение двух методов решения задачи по результатам численного расчета, а также сопоставление полученных численных решений с экспериментальными данными.

Ключевые слова: ползучесть, разрушение, удельная энергия рассеяния, параметр поврежденности, метод продолжения решения по параметру, наилучшая параметризация, системы дифференциальных уравнений.

Основы энергетического варианта теории ползучести. Теория ползучести — это одно из направлений механики деформируемого твердого тела, сложившаяся во второй половине XX в. и занявшая свое место наряду с такими разделами механики, как теория упругости и теория пластичности. Термином «ползучесть» принято называть всю совокупность явлений, которые можно объяснить, допустив, что зависимость между напряжениями и деформациями содержит время явно или через посредство некоторых операторов. Свойства ползучести обнаруживают материалы различной природы: металлы, пластмассы, горные породы, бетон, естественные и искусственные камни, лед и др. [1].

Ползучесть у металлических материалов в холодном состоянии практически отсутствует. Но при повышенных температурах, например в турбинах авиационных двигателей при длительной эксплуатации, ползучесть может достигать таких значительных величин, при которых металлические материалы могут разрушиться. В связи с этим возникает необходимость расчета элементов конструкций на длительную прочность, т.е. расчета времени, в течение которого рассматриваемый элемент конструкции под действием заданных внешних нагрузок не разрушится. Общепринятая схема расчета на длительную прочность разбивается на две само-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований, проект 13-08-00473.

стоятельные задачи: на базе какой-либо из теорий ползучести находят напряженно-деформированное состояние, а затем, используя один из критериев длительной прочности, определяют долговечность конструкции. В данной работе расчет ведется по уравнениям энергетического варианта теории ползучести, преимущество которого заключается в том, что две указанные задачи совмещаются [2; 3].

Основные гипотезы, на которых базируется энергетический вариант теории ползучести, следующие [2]:

— процессы ползучести и разрушения — два сопутствующих и влияющих друг на друга процесса;

— за меру интенсивности процесса ползучести принимается величина удельной мощности W рассеяния, которая определяется выражением

$$W = \sigma_{kl} \eta_{kl},$$

где σ_{kl} — компоненты тензора напряжений; $\eta_{kl} = d\varepsilon_{kl}/dt$ — компоненты тензора скоростей деформаций ползучести в декартовых координатах; ε_{kl} — компоненты тензора деформаций ползучести.

За меру повреждаемости материала принимается величина удельной работы A рассеяния, определяемая выражением $\int_0^t W dt$. Разрушение материала наступает при достижении удельной работы рассеяния критического значения A^* , являющегося функцией температуры;

— предполагается существование уравнения состояния, связывающего оба процесса ползучести и разрушения по выбранным выше мерам в виде [4]

$$W = F(\sigma_i, A, T, \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k), \quad (1)$$

где T — температура; $\sigma_i = \sqrt{3s_{kl}s_{kl}}/2$ — интенсивность напряжений; $s_{kl} = \sigma_{kl} - \sigma_0 \delta_{kl}$ — компоненты девиатора тензора напряжений, $\sigma_0 = \sigma_{kl} \delta_{kl} / 3$ — гидростатическая (шаровая) составляющая тензора напряжений; δ_{kl} — символы Кронекера; $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k$ отождествляются с параметрами поврежденности [1].

Здесь предполагается суммирование по повторяющимся индексам;

— предполагается справедливым закон течения вплоть до разрушения в виде

$$\eta_{ij} = \lambda \frac{\partial \sigma_i}{\partial \sigma_{ij}};$$

— материал считается пластически несжимаемым вплоть до разрушения

$$\eta_{kl} \delta_{kl} = 0.$$

Далее ограничимся одним параметром поврежденности ω , кинетическое уравнение для которого запишем в виде [4]

$$\frac{d\omega}{dt} = \Psi(\sigma_i, A, T, \omega), \quad \omega(x_k, 0) = 0, \quad \omega(x_k^*, t^*) = 1. \quad (2)$$

Считается, что в случае неповрежденного материала параметр ω во всех точках тела равен нулю; если в какой-либо точке с координатами x_k^* в момент времени $t = t^*$ он достигает значения равного единице, то говорят, что в этой точке произошло разрушение, а время t^* называют временем начала разрушения тела.

Экспериментально показано [2], что кривые ползучести $A = A(t)$ подобны при различных уровнях напряжений и температур. Учитывая этот факт, можно конкретизировать зависимости (1)—(2) и представить их в виде

$$\frac{dA}{dt} = \frac{F_1(\sigma_i, T)}{U_1(A)U_2(\omega)}, \quad (3)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{F_2(\sigma_i, T)}{U_3(A)U_4(\omega)}, \quad (4)$$

где функциональные зависимости $F_1, F_2, U_1, \dots, U_4$ определяются в экспериментах [4].

Применение уравнений в энергетической форме к решению задачи на чистый изгиб балки. Одной из простейших конструкций для численного расчета на ползучесть и длительную прочность является балка, нагруженная постоянным изгибающим моментом. Численное решение задачи неустановившейся ползучести изгибаемого бруса получены многими авторами для материалов с одинаковыми свойствами на растяжение и сжатие [1; 5; 6]. Для материалов с разными характеристиками ползучести на растяжение и сжатие данная задача решена в предположении установившейся ползучести и неустановившейся ползучести по теории старения [7]. Данная задача с использованием уравнений энергетического варианта теории ползучести была решена для материала с одинаковыми свойствами на растяжение и сжатие [2] и материала с различными свойствами на растяжение и сжатие [2; 8; 9].

Ниже рассматривается чистый изгиб балки прямоугольного поперечного сечения шириной b и высотой h изготовленной из авиационного сплава АК4-1Т, при постоянной температуре, под действием постоянного изгибающего момента M [8; 9]. Расчет проводится с учетом всей картины перераспределения напряжений вплоть до начала разрушения. Под разрушением балки будем понимать не только разделение ее на части, но и исчерпывание несущей способности, происшедшей вследствие неограниченной интенсификации процесса ползучести в некоторой ее области. В данном случае достижение в некотором волокне параметром поврежденности значения равного единице. Расчет по уравнениям энергетического варианта теории ползучести [4] сводится к решению системы трех интегро-дифференциальных уравнений.

Считая, что полная деформация в произвольной точке балки в любой момент времени складывается из упругой деформации и деформации ползучести, из уравнений равновесия

$$b \int_{-h/2}^{h/2} \sigma \xi d\xi = M, \quad \int_{-h/2}^{h/2} \sigma d\xi = 0 \quad (5)$$

с учетом гипотезы плоских сечений находим кривизну балки κ , смещение нейтральной линии δ и напряжение σ , действующее в точке на расстоянии y от срединной поверхности:

$$\kappa = \frac{M}{EJ} + \frac{b}{J} \int_{-h/2}^{h/2} \varepsilon \xi d\xi; \quad (6)$$

$$\delta = -\frac{1}{\kappa h} \int_{-h/2}^{h/2} \varepsilon d\xi; \quad (7)$$

$$\sigma = E\kappa(y - \delta) - E\varepsilon, \quad y \in [-h/2; h/2], \quad (8)$$

где E — модуль упругости материала; $J = bh^3/12$ — осевой момент инерции сечения балки.

Подставляя выражение для напряжений (8) в уравнения ползучести и поврежденности для чистого изгиба балки (3), (4), получаем

$$\begin{cases} \frac{dA}{dt} = \frac{B_A (\exp\{\zeta\sigma^2\} - 1)}{(1-\omega)^m} \vartheta(\sigma) + \frac{\bar{B}_A (\exp\{\bar{\zeta}\sigma^2\} - 1)}{(1-\omega)^{\bar{m}}} \vartheta(-\sigma), \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{B_\omega (\exp\{\beta\sigma^2\} - 1)}{(1-\omega)^m} \vartheta(\sigma) + \frac{\bar{B}_\omega (\exp\{\bar{\beta}\sigma^2\} - 1)}{(1-\omega)^{\bar{m}}} \vartheta(-\sigma), \\ \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{dA}{dt}, \end{cases} \quad (9)$$

где $\vartheta(x) = 1$ при $x > 0$, $\vartheta(x) = 0$ при $x \leq 0$; $B_A, \zeta, m, B_\omega, \beta$ — характеристики ползучести на растяжение; $\bar{B}_A, \bar{\zeta}, \bar{m}, \bar{B}_\omega, \bar{\beta}$ — характеристики ползучести на сжатие, получим систему трех интегро-дифференциальных уравнений относительно A, ω, ε .

Разбивая сечение балки по высоте на k равных интервалов и заменяя интегралы конечными суммами по формуле Симпсона [8], получим систему дифференциальных уравнений, $i = \overline{0, k}$:

$$\begin{cases} \frac{dA_i}{dt} = \frac{B_A (\exp\{\zeta\sigma_i^2\} - 1)}{(1-\omega_i)^m} \vartheta(\sigma_i) + \frac{\bar{B}_A (\exp\{\bar{\zeta}\sigma_i^2\} - 1)}{(1-\omega_i)^{\bar{m}}} \vartheta(-\sigma_i), \\ \frac{d\omega_i}{dt} = \frac{B_\omega (\exp\{\beta\sigma_i^2\} - 1)}{(1-\omega_i)^m} \vartheta(\sigma_i) + \frac{\bar{B}_\omega (\exp\{\bar{\beta}\sigma_i^2\} - 1)}{(1-\omega_i)^{\bar{m}}} \vartheta(-\sigma_i), \\ \frac{d\varepsilon_i}{dt} = \frac{1}{\sigma_i} \cdot \frac{dA_i}{dt}. \end{cases} \quad (10)$$

$$\sigma_i = Ek(y_i - \delta) - E\varepsilon_i. \quad (11)$$

Нижний индекс определяет точку разбиения балки по высоте. Выражение для κ и δ имеют вид

$$\kappa = \frac{M}{EJ} + \frac{bd}{3J} (\varepsilon_0 y_0 + 4(\varepsilon_1 y_1 + \dots + \varepsilon_{k-1} y_{k-1}) + 2(\varepsilon_2 y_2 + \dots + \varepsilon_{k-2} y_{k-2}) + \varepsilon_k y_k),$$

$$\delta = -\frac{d}{3\kappa h} (\varepsilon_0 y_0 + 4(\varepsilon_1 y_1 + \dots + \varepsilon_{k-1} y_{k-1}) + 2(\varepsilon_2 y_2 + \dots + \varepsilon_{k-2} y_{k-2}) + \varepsilon_k y_k),$$

где d — длина интервала разбиения; y_i — значение высоты в i -ой точке разбиения.

Подставляя выражения для σ_i (11) в (10), получим систему $3(k + 1)$ обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка.

В качестве начальных условий для системы (10) берутся однородные:

$$t = 0: \varepsilon_i = A_i = \omega_i = 0, \quad i = \overline{0, k}. \quad (12)$$

Расчет проводился для балки прямоугольного поперечного сечения длиной 200 мм ($b = 10$ мм, $h = 20$ мм) из авиационного сплава АК4-1Т при температуре 200 °С. Характеристики ползучести для данного материала приведены в табл. 1. Модуль упругости $E = 60$ ГПа, внешний изгибающий момент $M = 1,76589 \cdot 10^{-4}$ МН · м, число разбиений по высоте принималось $k = 64$ [9].

Таблица 1

Характеристики ползучести

Растяжение					Сжатие				
m	$B_A \cdot 10^9$, МДж/ ($м^3 \cdot с$)	$B_\omega \cdot 10^9$, 1/с	$\zeta \cdot 10^4$, МПа $^{-2}$	$\beta \cdot 10^4$, МПа $^{-2}$	\bar{m}	$\bar{B}_A \cdot 10^9$, МДж/ ($м^3 \cdot с$)	$\bar{B}_\omega \cdot 10^9$, 1/с	$\bar{\zeta} \cdot 10^4$, МПа $^{-2}$	$\bar{\beta} \cdot 10^4$, МПа $^{-2}$
2	3,0	2,014	2,09	1,611	5	8,608	0,84575	1,515	1,2906

Задача (10), (12) решалась в среде Delphi 7 с использованием следующих численных методов интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений:

- метод Эйлера с переменным шагом интегрирования;
- метод Эйлера-Коши с переменным шагом интегрирования;
- метод Рунге-Кутты четвертого порядка точности с переменным шагом интегрирования;
- метод Адамса четвертого порядка точности с постоянным шагом.

Смена шага в указанных методах производится в соответствии с принципом Рунге—Ромберга—Ричардсона. Шаг уменьшается вдвое, если главный член погрешности с таким шагом $R > \varepsilon_1$, шаг увеличивается вдвое при $R > \varepsilon_2$, где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ — постоянные, характеризующие точность полученных приближенных решений для каждого метода [10]. Счет прекращался при достижении параметром поврежденности на внешнем наиболее нагруженном контуре значения $\omega \approx 1$.

Вычисления проводятся на персональном компьютере Intel Core i5 — 2410М CPU 2,30 ГГц; 4,00 ГБ ОЗУ; видеокарта NVIDIA GeForce GT540M 2 ГБ; 64-разрядная операционная система Windows 7 Домашняя базовая Service Pack 1.

Основные данные о вычислительном процессе приведены в табл. 2, где s_1 — шаг интегрирования в начале вычислений; s_2 — шаг интегрирования в конце вычислений; j — количество шагов по независимой переменной; t^* — расчетное значение длительной прочности рассматриваемой конструкции; ε — значение деформации ползучести на верхнем слое в конце вычислений; A — значение удельной энергии рассеяния на верхнем слое в конце вычислений; ω — значение параметра поврежденности на верхнем слое в конце вычислений; t_* — среднее время счета.

Таблица 2

Основные данные о решении задачи (10), (12)

s_1 , ч	s_2 , ч	j	t^* , ч	ε	A , МДж/м ³	ω	t_* , с
Метод Эйлера ($\varepsilon_1 = 5 \cdot 10^{-3}$, $\varepsilon_2 = 10^{-3}$)							
0,01778	$5,556 \cdot 10^{-4}$	19 026	319,07139	0,0353	5,88583	0,99887	73,216
Метод Эйлера-Коши ($\varepsilon_1 = 8 \cdot 10^{-4}$, $\varepsilon_2 = 3 \cdot 10^{-4}$)							
0,01778	$1,736 \cdot 10^{-5}$	20 122	319,03551	0,03535	5,88683	0,99977	83,239
Метод Рунге-Кутта ($\varepsilon_1 = 10^{-4}$, $\varepsilon_2 = 5 \cdot 10^{-5}$)							
0,01778	$3,4722 \cdot 10^{-5}$	24 604	319,03781	0,03533	5,88598	0,99943	105,829
Метод Адамса ($\varepsilon_1 = 3 \cdot 10^{-3}$, $\varepsilon_2 = 8 \cdot 10^{-4}$)							
0,01778	0,00444	71 778	319,01556	0,03526	5,88478	0,99796	304,353

Для проверки результатов численного расчета были проведены эксперименты [9] на чистый изгиб балки постоянным изгибающим моментом. В процессе эксперимента измерялся прогиб балки $\delta_0 = \delta_0(t)$ в центре на базе $l_0 = 100$ мм, кривизна пересчитывалась по формуле $\kappa = 8 \cdot \delta_0 / l_0^2$. Все эксперименты на изгиб доводились до разрушения.

Построение графиков производится в вычислительной системе Mathcad 14 по результатам, полученным в Delphi 7 методом Рунге-Кутта четвертого порядка точности.

На рис. 1а сплошной линией представлены расчетные значения, полученные при решении задачи в среде Delphi 7, квадратами — расчетные значения, полученные в работе [9], точками — экспериментальные значения $k = k(t)$ для величины изгибающего момента при максимальном напряжении в начальный момент $\delta(0)_{\max} = 264,87$ МПа [9].

На рис. 1б—1г показано распределение напряжения, удельной энергии рассеяния и деформации ползучести по высоте балки в различные моменты времени (указано в часах против соответствующей диаграммы) в эксперименте с $\delta(0)_{\max} = 264,87$ МПа.

На рис. 1д показано распределение поврежденности по высоте балки в различные моменты времени (указано в часах против соответствующей диаграммы) в эксперименте с $\delta(0)_{\max} = 264,87$ МПа.

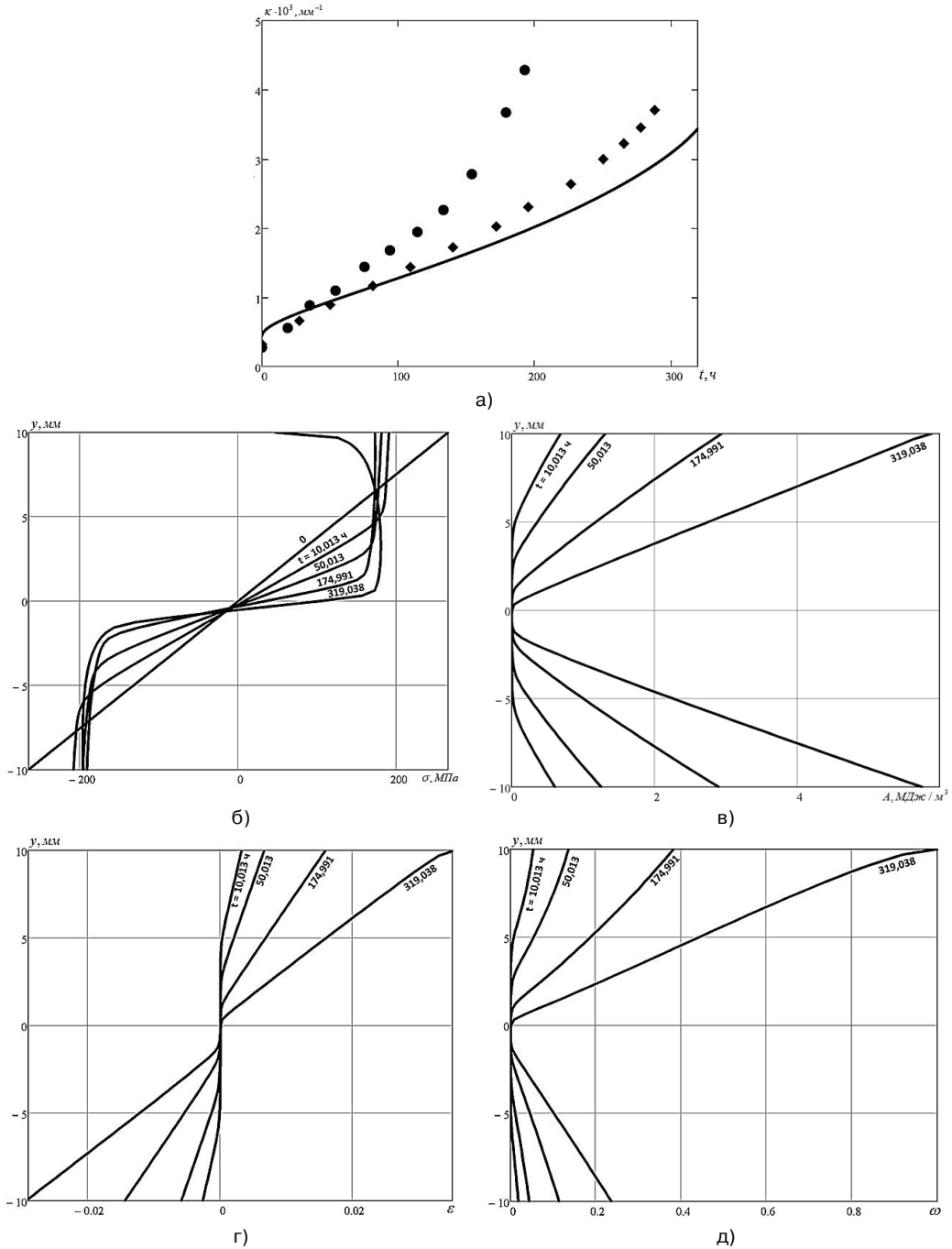


Рис. 1. Зависимость величины изгиба балки от времени (а); распределение напряжений по высоте сечения балки (б), удельной энергии рассеяния по высоте сечения балки (в), деформации ползучести по высоте сечения балки (г), поврежденности по высоте сечения балки (д) для задачи (10), (12)

Достаточно удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных значений $k = k(t)$ позволяет косвенно судить о достоверности процесса перераспределения внутренних напряжений и накопления повреждений в балке вплоть до начала разрушения.

Применение метода продолжения решения по параметру и наилучшей параметризации к решению задачи на чистый изгиб, записанной в уравнениях энергетического варианта теории ползучести. Как видно из системы уравнений (9), при приближении значения параметра поврежденности ω к единице правые части уравнений неограниченно возрастают. Это приводит к возникновению вычислительных трудностей, а именно необходимости для достижения заданной точности, уменьшения шага интегрирования до 10^{-3} и ниже, что приводит к увеличению времени счета. Этим же недостатком обладает и система уравнений (10).

Параметризуем уравнения системы (10), полагая, что неизвестные $\varepsilon_i, A_i, \omega_i$ и независимая переменная t являются функциями параметра λ :

$$\varepsilon_i = \varepsilon_i(\lambda), A_i = A_i(\lambda), \omega_i = \omega_i(\lambda), t = t(\lambda), i = \overline{0, k}. \quad (13)$$

В работе [11] показано, что для того, чтобы задачу Коши для нормальной системы обыкновенных дифференциальных уравнений преобразовать в рамках метода продолжения решения по параметру к наилучшему аргументу, необходимо и достаточно в качестве λ выбрать длину дуги, отсчитываемую вдоль интегральной кривой этой задачи:

$$d\lambda^2 = (dA_1)^2 + \dots + (dA_k)^2 + (d\varepsilon_1)^2 + \dots + (d\varepsilon_k)^2 + (d\omega_1)^2 + \dots + (d\omega_k)^2 + dt^2. \quad (14)$$

Используя соотношения системы (10), окончательно получим:

$$d\lambda^2 = \left(1 + \frac{1}{\sigma_1^2}\right)(dA_1)^2 + \dots + \left(1 + \frac{1}{\sigma_k^2}\right)(dA_k)^2 + \dots + d\omega_1^2 + \dots + (d\omega_k)^2 + dt^2. \quad (15)$$

Используя соотношение (15) для параметра λ и выражение для σ_i (11), получим систему $3k + 4$ обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка, $i = \overline{0, k}$:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dA_i}{d\lambda} = \pm \frac{Q_i}{(1-\omega_i)^{\bar{m}} \sqrt{1 + \sum_{j=0}^k \frac{\left(1 + \frac{1}{\sigma_j^2}\right) Q_j^2 + P_j^2}{(1-\omega_j)^{2\bar{m}}}}}, \\ \frac{d\omega_i}{d\lambda} = \pm \frac{P_i}{(1-\omega_i)^{\bar{m}} \sqrt{1 + \sum_{j=0}^k \frac{\left(1 + \frac{1}{\sigma_j^2}\right) Q_j^2 + P_j^2}{(1-\omega_j)^{2\bar{m}}}}}, \\ \frac{d\varepsilon_i}{d\lambda} = \frac{1}{\sigma_i} \cdot \frac{dA_i}{dt}, \\ \frac{dt}{d\lambda} = \pm \frac{1}{(1-\omega_i)^{\bar{m}} \sqrt{1 + \sum_{j=0}^k \frac{\left(1 + \frac{1}{\sigma_j^2}\right) Q_j^2 + P_j^2}{(1-\omega_j)^{2\bar{m}}}}}, \end{array} \right. \quad (16)$$

где Q_i и P_i имеют вид

$$Q_i = B_A \left(\exp\{\zeta\sigma_i^2\} - 1 \right) (1 - \omega_i)^{\bar{m}-m} \vartheta(\sigma_i) + \bar{B}_A \left(\exp\{\bar{\zeta}\sigma_i^2\} - 1 \right) \vartheta(-\sigma_i),$$

$$P_i = B_\omega \left(\exp\{\beta\sigma_i^2\} - 1 \right) (1 - \omega_i)^{\bar{m}-m} \vartheta(\sigma_i) + \bar{B}_\omega \left(\exp\{\bar{\beta}\sigma_i^2\} - 1 \right) \vartheta(-\sigma_i).$$

Выбирая положительное направление движения вдоль интегральной кривой задачи и занеся множитель $(1 - \omega_i)^{\bar{m}}$ под знак корня, получим:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dA_i}{d\lambda} &= \frac{Q_i}{\sqrt{(1 - \omega_i)^{2\bar{m}} + \sum_{j=0}^k \left(\left(1 + \frac{1}{\sigma_j^2} Q_j^2 + P_j^2 \right) \right) \left(\frac{1 - \omega_i}{1 - \omega_j} \right)^{2\bar{m}}}}, \\ \frac{d\omega_i}{d\lambda} &= \frac{P_i}{\sqrt{(1 - \omega_i)^{2\bar{m}} + \sum_{j=0}^k \left(\left(1 + \frac{1}{\sigma_j^2} \right) Q_j^2 + P_j^2 \right) \left(\frac{1 - \omega_i}{1 - \omega_j} \right)^{2\bar{m}}}}, \\ \frac{d\varepsilon_i}{d} &= \frac{1}{\sigma_i} \cdot \frac{dA_i}{dt}, \\ \frac{dt}{d\lambda} &= \frac{1}{\sqrt{(1 - \omega_i)^{2\bar{m}} + \sum_{j=0}^k \left(\left(1 + \frac{1}{\sigma_j^2} \right) Q_j^2 + P_j^2 \right) \left(\frac{1 - \omega_i}{1 - \omega_j} \right)^{2\bar{m}}}} \end{aligned} \right. \quad (17)$$

или, преобразовав правые части системы (17):

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dA_i}{d\lambda} &= \frac{Q_i \Pi_{l=0, l \neq i}^{\kappa} (1 - \omega_l)^{\bar{m}}}{\sqrt{\Pi_{l=0}^{\kappa} (1 - \omega_l)^{2\bar{m}} + \sum_{j=0}^{\kappa} \left(\left(1 + \frac{1}{\sigma_j^2} \right) Q_j^2 + P_j^2 \right) \Pi_{l=0, l \neq j}^{\kappa} (1 - \omega_l)^{2\bar{m}}}}, \\ \frac{d\omega_i}{d\lambda} &= \frac{P_i \Pi_{l=0, l \neq i}^{\kappa} (1 - \omega_l)^{\bar{m}}}{\sqrt{\Pi_{l=0}^{\kappa} (1 - \omega_l)^{2\bar{m}} + \sum_{j=0}^{\kappa} \left(\left(1 + \frac{1}{\sigma_j^2} \right) Q_j^2 + P_j^2 \right) \Pi_{l=0, l \neq j}^{\kappa} (1 - \omega_l)^{2\bar{m}}}}, \\ \frac{d\varepsilon_i}{d} &= \frac{1}{\sigma_i} \cdot \frac{dA_i}{dt}, \\ \frac{dt}{d\lambda} &= \frac{\Pi_{l=0}^{\kappa} (1 - \omega_l)^{\bar{m}}}{\sqrt{\Pi_{l=0}^{\kappa} (1 - \omega_l)^{2\bar{m}} + \sum_{j=0}^{\kappa} \left(\left(1 + \frac{1}{\sigma_j^2} \right) Q_j^2 + P_j^2 \right) \Pi_{l=0, l \neq j}^{\kappa} (1 - \omega_l)^{2\bar{m}}}} \end{aligned} \right. \quad (18)$$

В статье [9] показано, что у материалов с различными свойствами на растяжение-сжатие при изгибе постоянным изгибающим моментом разрушение начинается в крайнем волокне, испытывающем растяжение. Таким образом, знаменатели системы уравнений (18) не обращаются в ноль, более того, все правые части уравнений системы (18) по модулю меньше единицы.

В качестве начального напряженно-деформированного состояния берется однородное:

$$\lambda = 0: \varepsilon_i = A_i = \omega_i = t = 0, \quad i = \overline{0, k}. \quad (19)$$

Расчет проводится для балки прямоугольного поперечного сечения аналогичных размеров из сплава АК4-1Т. Характеристики ползучести в уравнениях системы (18) те же, что и для уравнений системы (10).

Задача (18), (19) решалась в вычислительной среде Delphi 7 с использованием тех же методов решения, что и задача (10), (12). Расчет проводился при тех же условиях, что и для непараметризованной задачи на персональном компьютере, описанном выше.

Основные данные о вычислительном процессе приведены в табл. 3, обозначения такие же, как и для табл. 2.

Таблица 3

Основные данные о решении задачи (18), (19)

$s_1, \text{ч}$	$s_2, \text{ч}$	j	$t^*, \text{ч}$	ε	$A, \text{МДж/м}^3$	ω	$t, \text{с}$
Метод Эйлера ($\varepsilon_1 = 5 \cdot 10^{-3}, \varepsilon_2 = 10^{-3}$)							
0,01778	$5,556 \cdot 10^{-4}$	19 026	19,07139	0,0353	5,88583	0,99887	86,262
Метод Эйлера-Коши ($\varepsilon_1 = 8 \cdot 10^{-4}, \varepsilon_2 = 3 \cdot 10^{-4}$)							
0,01778	$4,342 \cdot 10^{-6}$	20 128	319,03554	0,03535	5,88709	0,99989	135,159
Метод Рунге-Кутты ($\varepsilon_1 = 10^{-4}, \varepsilon_2 = 5 \cdot 10^{-5}$)							
0,01778	$1,74 \cdot 10^{-5}$	24 605	319,02886	0,03534	5,88662	0,99965	215,534
Метод Адамса ($\varepsilon_1 = 3 \cdot 10^{-3}, \varepsilon_2 = 8 \cdot 10^{-4}$)							
0,01778	0,00444	71 781	319,02889	0,03526	5,88171	0,99786	347,969

Графические результаты не отличались от представленных выше.

Вполне удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных значений для величины кривизны балки подтверждает правильность выбора определяющих уравнений в энергетической форме для описания процесса ползучести балки вплоть до разрушения.

Сравнение решений полученных с использованием уравнений энергетического варианта теории ползучести и параметризованных уравнений в энергетической форме показывает, что метод продолжения решения по параметру и наилучшая

параметризация может применяться для исследования конструкций на ползучесть и длительную прочность.

По результатам вычислений, приведенных в Таблице 3 и 4, видно, что использование метода продолжения решения по параметру и наилучшей параметризации позволяет продвинуться дальше по параметру поврежденности, по сравнению с непараметризованной задачей. Однако применение метода продолжения решения по параметру усложняет исходную систему уравнений, что приводит к увеличению времени счета.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Работнов Ю.Н.* Ползучесть элементов конструкций. — М.: Наука, 1966. — 752 с. [*Rabotnov Ju.N.* Polzuchest' jelementov konstrukcij. — М.: Nauka, 1966. — 752 p.]
- [2] *Соснин О.В.* Энергетический вариант теории ползучести / О.В. Соснин, Б.В. Горев, А.Ф. Никитенко. — Новосибирск: Институт гидродинамики СО АН СССР, 1986. — 95 с. [*Sosnin O.V., Gorev B.V., Nikitenko A.F.* Jenergeticheskij variant teorii polzuchesti. — Novosibirsk, Institut gidrodinamiki SO AN SSSR, 1986. — 95 s.]
- [3] *Горев Б.В.* Энергетический вариант теории ползучести в обработке металлов давлением / Б.В. Горев, В.А. Панамарев, В.Н. Перетятыко // Изв. вузов. Черная металлургия. — 2011. — № 6. — С. 16—18. [*Gorev B.V., Panamarev V.A., Peretyat'ko V.N.* Energeticheskij variant teorii polzuchesti v obrabotke metallov davleniem // Izv. Vuzov. Chernaya metallurgiya. — 2011. — N 6. — S. 16—18.]
- [4] *Соснин О.В.* К обоснованию энергетического варианта теории ползучести и длительной прочности металлов / О.В. Соснин, А.Ф. Никитенко, Б.В. Горев // ПМТФ. — 2010. — Т. 51. — № 4. — С. 188—197. [*Sosnin O.V., Gorev B.V., Nikitenko A.F.* K obosnovaniyu energeticheskogo varianta teorii polzuchesti i dlitel'noy prochnosti metallov // Prikladnaja mehanika i tehničeskaja fizika. — 2010. — T. 51. — N 4. — S. 188—197.]
- [5] *Качанов Л.М.* Теория ползучести / Л.М. Качанов. — М.: Физматгиз, 1960. — 455 с. [*Kachanov L.M.* Teorija polzuchesti. — М.: Fizmatgiz, 1960. — 455 p.]
- [6] *Лепин Г.Ф.* Ползучесть прямого бруса при изгибе с учетом повреждаемости материала / Г.Ф. Лепин, Ю.Д. Бондаренко // Проблемы прочности. — 1970. — № 7. — С. 68—70. [*Lepin G.F., Bondarenko Yu.D.* Polzuchest' pryamogo brusa pri izgibe s uchetom povrezhdaemosti materiala // Problemy prochnosti. — 1970. — N 7. — S. 68—70.]
- [7] *Никитенко А.Ф.* Изгиб балки с разными характеристиками ползучести при растяжении и сжатии / А.Ф. Никитенко, О.В. Соснин // Проблемы прочности. — 1971. — № 6. — С. 67—70. [*Nikitenko A.F., Sosnin O.V.* Izgib balki s raznymi kharakteristikami polzuchesti pri rastyazhenii i szhatii // Problemy prochnosti. — 1971. — N 6. — S. 67—70.]
- [8] *Горев Б.В.* К расчету на неустановившуюся ползучесть изгибаемого бруса из материала с разными характеристиками на растяжение и сжатие / Б.В. Горев // Динамика сплошной среды: Сб. науч. тр. — Новосибирск: Институт гидродинамики СО АН СССР, 1973. — Вып. 14. — С. 44—51. [*Gorev B.V.* K raschetu na neustanovivshuyusya polzuchest' izgibaemogo brusa iz materiala s raznymi kharakteristikami na rastyazhenie i szhatie // Dinamika sploshnoy sredy. — T. 14. — S. 44—51.]
- [9] *Горев Б.В.* Описание процесса ползучести и разрушения при изгибе балок и кручении валов уравнениями со скалярным параметром повреждаемости / Б.В. Горев, И.Д. Клопотов // ПМТФ. — 1999. — Т. 40. — № 6. — С. 157—162. [*Gorev B.V., Klopotov I.D.* Opisaniye protsessa polzuchesti i razrusheniya pri izgibe balok i kruchenii valov uravneniyami so skalyarnym parametrom povrezhdaemosti // Prikladnaja mehanika i tehničeskaja fizika. — 1999. — T. 40. — N 6. — S. 157—162.]

- [10] *Формалев В.Ф.* Численные методы / В.Ф. Формалев, Д.Л. Ревизников. — М.: Физматлит, 2004. — 400 с. [*Formalev V.F., Reviznikov D.L.* Chislennye metody. — М.: Fizmatlit, 2004. — 400 p.]
- [11] *Шалашилин В.И.* Метод продолжения решения и наилучшая параметризация / В.И. Шалашилин, Е.Б. Кузнецов. — М.: Эдиториал УРСС, 1999. — 224 с. [*Shalashilin V.I., Kuznetsov E.B.* Metod prodolzheniya resheniya i nailuchshaya parametrizatsiya. — М., Editorial URSS, 1999. — 224 p.]

MATHEMATICAL MODELING OF THE PURE BENDING FOR THE MULTIMODULUS AVIATION MATERIAL BEAM AT CREEP CONDITIONS

E.B. Kuznetsov, S.S. Leonov

803 “Differential Equations” department
Moscow Aviation Institute (National Research University) (MAI)
Volokolamsk Highway, 4, Moscow, Russia, 125993

The paper deals with the solution of pure bending of rectangular beam AK4-1T at constant temperature loaded constant bending moment. The research of construction for creep and long-term strength with the whole distribution pattern of the stress until the beginning of destruction considered. The numerical calculation of the problem is solved with the equations of the energy variant of the theory of creep, as well as the method of the solution continuation with respect to a parameter and the best parameterization, using four methods of numerical integration of ordinary differential equations: Euler method, Euler-Cauchy method, fourth-order Runge-Kutta method and fourth-order Adams method. The paper also considers comparison of two methods for the solution of the numerical results and a comparison of the numerical solutions with the experimental data as well.

Key words: creep; fracture; specific dissipation power; damage parameter; the method of solution continuation with respect to a parameter; the best parameterization; system of differential equations.

НАНОТЕХНОЛОГИИ ОБРАЗОВАНИЯ НАНОМЕРОВ

**А.Е. Воробьев, Г.А. Кочофа, В.П. Малюков, З.В. Лысенкова,
И.Л. Капитонова, Мартин Зарума Торес, Е.В. Чекушина,
Р. Ибрагимов, А.С. Каукенова, А.В. Синченко,
И.М. Нарожный, Трабелсси Салим**

Кафедра нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела
Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

В статье описаны такие составляющие наноиндустрии, как наноматериалы, наноинструменты, наноинтермедиаты, продукты с наноконпонентами, а также разнообразные нанообъекты и нанокомпозиты.

Авторами был сделан анализ основных методов получения наноматериалов.

Ключевые слова: нанотехнологии, наноматериалы, наноиндустрия, наномеры.

Термин «нанотехнология» был введен японцем Норио Танигучи в 1974 г. на конференции Британского общества точной инженерии в статье «Об основной концепции нанотехнологии» [17], в которой она определялась как «обработка, разделение, соединение и деформация материалов по одной молекуле или атому».

В настоящее время под термином «нанотехнология» подразумевают создание и использование различных материалов, устройств и систем, структура которых регулируется в нанометровом масштабе, т.е. в диапазоне размеров атомов, молекул и надмолекулярных образований [3; 4; 6].

В соответствии с этим нанотехнологии предполагают контролируемое регулирование различных объектов на молекулярном и надмолекулярном уровне (1—100 нанометров), определяющих большинство их фундаментальных параметров и свойств, на основе целенаправленного манипулирования их атомами и молекулами [8; 9; 11].

В общем случае нанотехнологии позволяют [5]:

- создавать принципиально новые материалы;
- уменьшать размеры изделий, с сохранением (зачастую — улучшением) их свойств;
- придавать новые функции традиционным материалам;
- эффективно использовать различные наноструктуры;
- решать вопросы, невозможные в рамках традиционных технологий;
- снижать материало-, энерго- и трудоемкость выпускаемой продукции, а также уменьшать загрязнение окружающей среды.

По классификации Lux Research к наноиндустрии могут быть отнесены четыре группы нанопродуктов [12]:

- 1) наноматериалы (nanomaterials) — наноразмерные структуры в необработанной форме (наночастицы, нанотрубки, фуллерены и др.);

2) наноинструменты (nanotools) — техническое оборудование для наноисследований и нанопроизводства (в том числе программное обеспечение для молекулярного моделирования);

3) наноинтермедиаты (nanointermediates) — нанокomпоненты для более сложных продуктов (покрытия, ткани, суперпроводящие волокна, чипы, контрастные носители и др.);

4) продукты с нанокomпонентами (nano-enabled products) — любая продукция, в том или ином объеме содержащая наноинтермедиаты и характеризующаяся существенно улучшенными потребительскими свойствами.

Так, в результате действия нанотехнологий могут формироваться разнообразные нанообъекты и нанокomпозиты, которые обычно подразделяются на три основных класса [7]:

1) трехмерные частицы (получаемые взрывом проводников, плазменным синтезом, восстановлением тонких пленок и т.д.);

2) двумерные объекты — пленки (получаемые методами молекулярного наслаивания, CVD, ALD, а также методом ионного наслаивания и т.д.);

3) одномерные объекты — вискеры (эти объекты получают методом молекулярного наслаивания, введением веществ в цилиндрические микропоры и т.д.).

Также посредством нанотехнологий формируют нанокomпозиты — материалы, полученные введением наночастиц в какие либо матрицы.

В частности, к настоящему времени были получены следующие новые наночастицы и наноматериалы [10]:

- неионные коллоидные растворы наночастиц металлов;
- анионоподобные высококоординационные аквахелаты нанометаллов;
- гидратированные наночастицы биогенных металлов;
- гидратированные и карботированные наночастицы биогенных металлов;
- электрически заряженные коллоидные наночастицы металлов;
- электрически нейтральные и электрически заряженные металлические наночастицы в аморфном состоянии;
- структурированные агломераты наночастиц;
- наногальванические элементы;
- энергоаккумулирующие металлические наноматериалы.

Основные методы получения наноматериалов можно разделить на ряд технологических групп (рис. 1): методы на основе порошковой металлургии; методы, в основе которых лежит получение аморфных прекурсоров; поверхностные технологии (создание покрытий и модифицированных слоев с наноструктурой); методы, основанные на использовании интенсивной пластической деформации; комплексные методы, использующие последовательно или параллельно несколько разных технологий.

В таблице представлены наиболее распространенные способы получения наноматериалов.

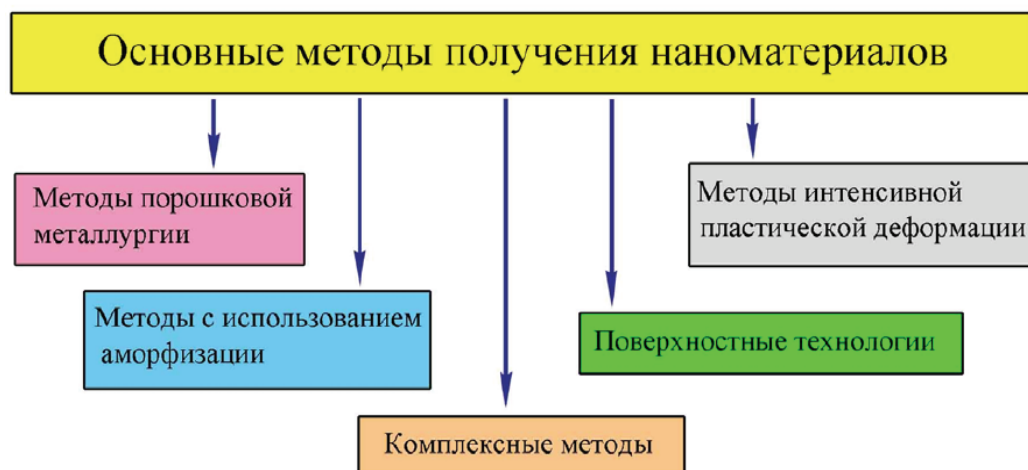


Рис. 1. Основные методы получения наноматериалов [1]

Таблица

Основные способы получения наноматериалов

Способ получения	Характеристика способа получения	Получаемые объекты
Фуллереновая дуга	Синтез в плазме дугового разряда между графитовыми электродами	Фуллереновая сажа, углеродные нанотрубки
Газофазный метод	Температура 4000 °С и выше для получения фуллерена C ₆₀ СНТ	«Гостевые» наномолекулы
Каталитическое разложение углеводородов	Продувка смеси газообразного углеводорода и буферного газа по кварцевой трубке с металлическим порошком и температурой 700—1000 °С	Углеродные нити, многослойные нанотрубки, металлические частицы, покрытые графитовой оболочкой
Порошковая технология	Метод Глейтера (газофазное осаждение и компактирование); электроразрядное спекание; горячая обработка давлением; высокие статические и динамические давления при различных температурах	Металлы, сплавы, химические соединения
Интенсивная пластическая деформация	Равноканальное угловое прессование; деформация кручением; обработка давлением многослойных композитов	Металлы, сплавы
Кристаллизация из аморфного состояния	Обычные и высокие давления	Аморфные металлические покрытия
Пленочная технология	Химическое осаждение покрытий из газовой фазы (CVD); физическое осаждение из газовой фазы (PVD); электроосаждение; золь-гель технология	Металлы, сплавы, полимеры, химические соединения
Золь-гель синтез	Последовательные операции получения суспензии и высушивания полученной структуры	Аэрогель
Пептидный синтез	Последовательная конвергентная и дивергентная полимеризация из мономеров	Дендримеры

На рис. 2 схематически изображены основные стадии роста наночастиц золота внутри монокристалла.

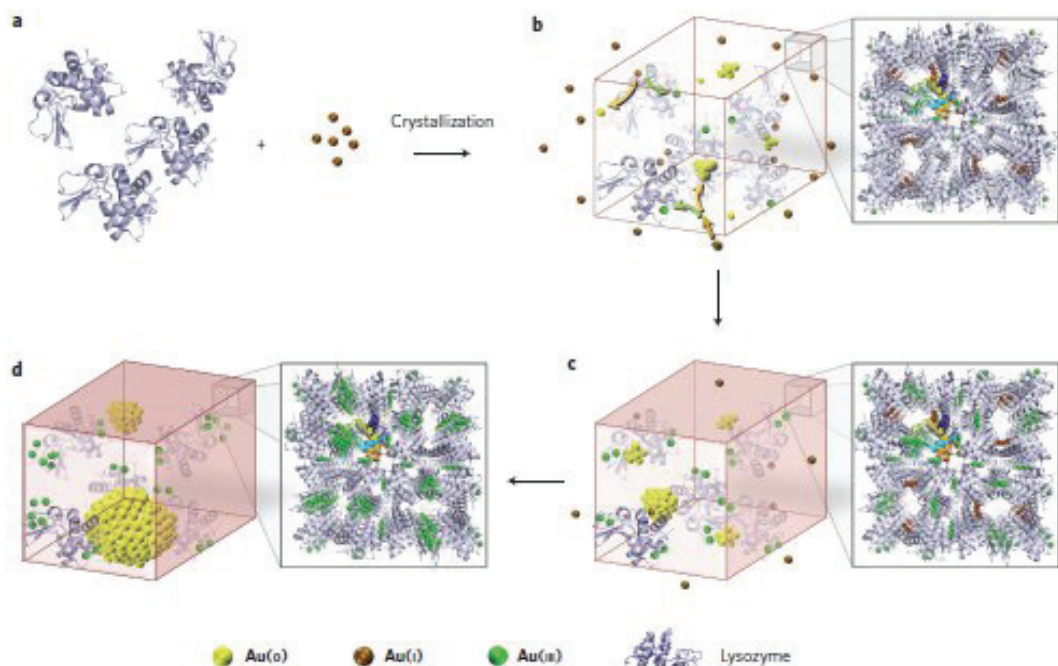


Рис. 2. Схема роста наночастиц золота

Варьируя скорость роста, можно получить наночастицы необходимого (заданного) размера. Так, на скорость роста наночастиц золота могут влиять посторонние ионы и молекулы, в частности, ионы ртути (II) ускоряют их рост, а три(2-карбоксиил)фосфин, наоборот, замедляет рост.

Кроме этого, необходимо отметить, что к настоящему времени лабораторным и промышленным методом уже созданы мелкодисперсные водные коллоидные растворы фуллеренов C_{60} и C_{70} , содержащие частицы с размерами менее 0,22 мкм (2200 Å) [14]. К тому же эти растворы довольно стабильны в течение трех месяцев [2].

Коллоидные растворы фуллеренов являются типичными гидрофобными гидрозольями, в которых частицы имеют поверхностный отрицательный заряд [13]. При этом сами же частицы имеют преимущественно сферическую форму [2].

В этой же работе сообщалось, что были получены коллоидные растворы с концентрацией фуллеренов C_{60} вплоть до $2 \cdot 10^{-3}$ моль/дм³, которые являются стабильными в течение 12—18 месяцев. При чем, эти растворы при добавлении к ним электролитов обычно коагулируют [2].

В настоящее время синтезирован еще один водный молекулярно-коллоидный раствор (C_N FWS), по меньшей мере, одного гидратированного фуллерена (описанный в статье [16]).

Минимальный размер кластерных частиц в таких растворах характеризуется значением 34 Å, а сами частицы представляют собой агрегаты, состоящие из 13 молекул фуллерена C_{60} , причем каждая из них окружена 20—24 молекулами H_2O [16].

Известны молекулы фуллеренов C_N , содержащие 70, 76, 82, 84 и до 240 атомов углерода. Очевидно, что чем большее число атомов углерода содержится в молекуле фуллерена, тем больше по размеру является и сама молекула [2].

При этом с увеличением N фуллерены становятся менее доступными и более редкими, однако основные физико-химические свойства у них остаются достаточно близкими. В результате в водных растворах они ведут себя практически одинаково и закономерности формирования коллоидных растворов фуллеренов (независимо от N) также одинаковы.

Символ @ в их формуле означает, что сферическая молекула фуллерена C_N окружена сферической сеткой, состоящей из адсорбированных молекул воды, связанных между собой водородными связями [2].

Как было показано в статье [16], количество молекул воды ($m + n$), адсорбированных на поверхности каждой молекулы фуллерена C_{60} , равно или больше 20.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Балоян Б.М., Колмаков А.Г., Альимов М.И., Кротов А.М. Наноматериалы: классификация, особенности свойств, применение и технологии получения. — М., 2007. [Baloyan B.M., Kolmakov A.G., Alyimov M.I., Krotov A.M. Nanomaterialy: klassifikatsiya, osobennosti svoystv, primeneniye i tehnologii polucheniya. — М., 2007.]
- [2] Водный молекулярно-коллоидный раствор гидратированного фуллерена: Патент RU 2213692. [Vodniy molekulyarno-kolloidniy rastvor gidratirovannogo fullerena: Patent RU 2213692.]
- [3] Головин Ю.И. Основы нанотехнологий. — М.: Машиностроение, 2012. — 656 с. [Golovin Yu.I. Osnovy nanotekhnologii. — М.: Mashinostroeniye, 2012. — 656 s.]
- [4] Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. УРСС. 2005. [Gusev A.I. Nanomaterialy, nanostrukturny, nanotekhnologii. URSS. 2005.]
- [5] Зимон А.Д. Коллоидная химия наночастиц. Ч. 1. Особенности и свойства наночастиц: Учеб. пособие. — М.: МГУТУ, 2010. [Zimon A.D. Kolloidnaya himiya nanochastits. Chast 1. Osobennosti i svoystva nanochastits: Ucheb. posobie. — М.: MGUTU, 2010.]
- [6] Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам // Сб. ст. под ред. П.П. Мальцева. — М.: Техносфера, 2005. [Nano- i mikrosistemnaya tehnika. Ot issledovaniy k razrabotkam // Sbornik statey pod redaktsiye P.P. Maltseva. — М.: Tehnosfera, 2005.]
- [7] Нанотехнологии [Nanotekhnologii]. — URL: <http://nano-info.ru/nanotechnologies>.
- [8] Нанотехнологии в электронике / Под ред. Ю. Чаплыгина. — М.: Техносфера, 2005. [Nanotekhnologii v elektronike / Pod red. Yu. Chaplygina. — М.: Tehnosfera, 2005.]
- [9] Рамбиди Н.Г., Березкин А.В. Физические и химические основы нанотехнологий. — М.: Физматлит, 2008. [Rambidi N.G., Berezkin A.V. Fizicheskie i himicheskie osnovy nanotekhnologii. — М.: Fizmatlit, 2008.]
- [10] Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности. УРСС. 2008. [Foster L. Nanotekhnologii. Nauka, innovatsii i vozmozhnosti. URSS. 2008.]
- [11] Хавкин А.Я. Наноявления и нанотехнологии в добыче нефти и газа / Под ред. Г.К. Сафаралиева. — М.; Ижевск: ИИКИ, 2010. — 692 с. [Havkin A.Ya. Nanoyavleniya i nanotekhnologii v dobyche nefi i gaza / Pod red. G.K. Safaraliev. — М.; Izhevsk: IIKI, 2010. — 692 s.]
- [12] Яковлев А.Р. Развитие рынка нанотехнологий: благо или опасность? // Современные исследования социальных проблем. — Вып. № 9 (17). — 2012. [Yakovlev A.R. Razvitiye ryinka nanotekhnologii: blago ili opasnost? // Sovremennyye issledovaniya sotsialnykh problem. Vyp. # 9 (17). — 2012.]

- [13] *Andrievsky G.V.* et al. Colloidal Dispersions of Fullerene C₆₀ in Water: Some Properties and Regularities of Coagulation by Electrolytes, The Electrochem. Soc. Interface, 195-th Meeting, Seattle, 1999.
- [14] *Andrievsky G.V.* et al. On the Production of an Aqueous Colloidal Solution of Fullerenes, J. Chem. Soc., Chem. Commun., 1995, p. 1281—1282.
- [15] *Andrievsky G.V., Klochkov V.K., Karyakina E.L., Mchedlov-Petrossyan N.O.* Studies of aqueous colloidal solutions of fullerene C₆₀ by electron microscopy. Chem. Phys. Lett, 300 (1999) 392—396.
- [16] *Andrievsky G.V., Klochkov V.K., Derevyanchenko L.I.* FWS — Molecular-colloid systems of hydrated fullerenes and their fractal clusters in water solutions. The Electrochemical Society Interface (195-th Meeting, May 2—6, 1999, Seattle, Washington) Spring 1999, Abs# 710.
- [17] *Taniguchi N.* On the Basic Concept of 'Nano-Technology'. Proc. Intl. Conf. Prod. London, Part II British Society of Precision Engineering, 1974.

NANOTECHNOLOGICAL FORMATION OF NANOMERS

**A.E. Vorobiev, G.A. Kochofa, V.P. Malukov, Z.V. Lysenkova,
I.L. Kapitonova, Zaruma Martin Torres, E.V. Chekushina,
R. Ibragimov, A.S. Kaukenova, A.V. Sinchenko,
I.M. Narozhnyi, Trabelssi Salim**

Department of oil-field geology, mining, oil and gas engineering
Faculty of Engineering
Peoples' Friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115093

The article presents such components of nanoindustry as nanomaterials, nanotools, nanointermediaty products with nano-components, as well as a variety of nano-objects and nanocomposites. The authors analyzed the main methods of obtaining nanomaterials.

Key words: nanotechnology, nanomaterials, nanotech, nanomers.

СТАНОВЛЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО РЫНКА НАНОИНДУСТРИИ

**А.Е. Воробьев, Г.А. Кочофа, В.П. Малюков, З.В. Лысенкова,
И.Л. Капитонова, Мартин Зарума Торес, А.С. Каукунова,
А.В. Синченко, Е.В. Чекушина, И.М. Нарожный,
Р. Ибрагимов**

Кафедра нефтепромысловой геологии,
горного и нефтегазового дела
Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

В статье представлены перспективы такого приоритетного направления развития мирового научного и технологического сообщества, как применение промышленных нанотехнологий. Авторами проанализированы национальные программы развития нанотехнологий в различных странах.

Ключевые слова: нанотехнологии, наноматериалы, nanoиндустрия, интеллектуальная собственность, программа развития.

Наблюдаемый в настоящее время практически повсеместный переход к широкому применению промышленных нанотехнологий является одним из важнейших направлений эффективного мирового научного и технологического развития.

В частности, если в 2000 г. мировой рынок нанопродукции оценивался в 2,6 млрд долл. США, то уже в 2009 г. объемы продаж разнообразных продуктов нанотехнологий составили уже 11,67 млрд долл., а в 2014 г. они достигли значения более 25 млрд долл. [5]. По прогнозам аналитиков BCC Research, в 2015 г. этот показатель достигнет величины 26 млрд долл. (с ежегодными темпами роста в 11,1%) [10]. По прогнозу Национального фонда науки США, к 2015 г. годовой оборот рынка продуктов и услуг nanoиндустрии достигнет значения 1 трлн долл.

В 2009 г. самым крупным сегментом рынка нанотехнологий стала продажа наноматериалов — их вклад составил 9,027 млрд долл. К 2015 г. объем продаж наноматериалов достигнет значения 19,6 млрд долл. (с ежегодными темпами роста в 14,7%) [10]. Сегмент продаж nanoинструментов занял 2-е место — 2,613 млрд долл. Намечено, что к 2015 г. продажи nanoинструментов достигнут величины 6,8 млрд долл.

В процентном соотношении облик такого рынка прогнозируется следующим образом (табл. 1).

Таблица 1

Соотношение различных сегментов рынка nanoиндустрии [1]

Направления nanoиндустрии	Доли рынка, %
Нанoeлектроника	40—45
Наноматериалы	30—35
Нанобиотехнологии	9—14
Полимеры	8—12
Нанoeлектрохимия	3—5
Нанооптика	2—4

В дальнейшем наиболее быстрорастущим сегментом рынка наноиндустрии станут различные наноустройства [10]. Так, если в 2009 г. объем продаж наноустройств составил всего 31 млн долл., то впоследствии их продажи росли на 46% ежегодно и в 2015 г. они достигнут величины 233,7 млн долл.

В настоящий момент доля России в общемировом технологическом секторе чрезвычайно мала и составляет около 0,3%, а на рынке нанотехнологий — лишь 0,04% [10].

Необходимо также отметить, что интенсивно развивается и такой сегмент рынка наноиндустрии, как различная интеллектуальная собственность (табл. 2).

Таблица 2

Научная активность стран мира в области нанотехнологий (2005–2007 гг.)

Страна	Научные публикации		Патенты	
	Ед.	%	Ед.	%
США	40 133	26	6 065	52
ЕС	43 659	28	2 400	21
Китай	35 496	23	126	1
Япония	15 009	10	1 235	11
Южная Корея	9 423	6	573	5
Россия	4 650	3	70	1
Весь мир	156 273	100	11 638	100

Источник: URL: <http://www.portalnano.ru/news/read/60>

Так, в 2003 г. в области нанотехнологий и наноматериалов в мире было зарегистрировано 8600 патентов на изобретения (в 1976—2003 гг. на США приходилось свыше 60% таких патентов). В частности, в 2003 г. из 8600 этих патентов в странах «Большой восьмерки» на США приходилось 5228 патентов, Японию — 926, Германию — 684, Канаду — 244 и Францию — 183 [5]. В свою очередь, в США наибольшее количество патентов на изобретения в области нанотехнологий и наноматериалов используют такие компании, как IBM, Intel и L'Oreal.

Осознавая необходимость успешного развития нанотехнологий, правительственные структуры более чем 35 стран мира уже разработали различные специализированные национальные стратегии, направленные на формирование комплексной системы поддержки исследований в сфере нанотехнологий, последующую коммерциализацию результатов научно-исследовательской деятельности и продвижение продукции наноиндустрии на мировые рынки сбыта высокотехнологичной продукции [7].

В частности, для поддержки и развития наноиндустрии в США с 2000 г. действует Программа развития нанотехнологических исследований «Национальная нанотехнологическая инициатива». В течение 2001—2005 гг. государственное финансирование этой Программы составляло более 4 млрд долл. (причем частные инвестиции примерно в 10 раз превосходили правительственные), а число ученых, занятых в ней, превышало 100 000 человек.

В Европейском союзе Программа развития нанотехнологий включает в себя ряд специальных проектов, направленных на установление лидирующих позиций

в основных критических направлениях в этой области (начиная с разработки наноантенн и наноустройств, и заканчивая разработкой нанороботов, способных восстанавливать большие человеческие органы). В 2007 г. в ЕС на тематическое направление «Нанонауки, наноматериалы и новые технологии» было выделено финансирование в размере 3,5 млрд евро.

В Японии с 1999 г. действует Национальная программа работ по нанотехнологии. В дальнейшем (в 2005 г.) Министерство экономики, промышленности и торговли Японии инициировало разработку Стратегии развития нанотехнологий и проведение ряда исследований, ориентированных на выявление слабых и сильных позиций японской промышленности, барьеров, возникающих при коммерциализации нанотехнологий [7].

К особенностям японской Стратегии развития нанотехнологий относятся [7]:

- плановость и централизованная поддержка государства;
- ориентация на использование наноматериалов;
- главная цель — «создание общества гармонии с природой»;
- превышение корпоративного финансирования исследований и разработок в нанотехнологии над бюджетным;
- устойчивая тенденция к переходу от исследований к коммерциализации результатов в области нанотехнологии [7].

В Китае поддержка нанотехнологий на государственном уровне (Министерством науки и технологий) начала осуществляться с 1990 г. Тогда была принята Программа по поддержке исследований и разработок на период до 2000 г. [7]. В 2001 г. была принята новая Национальная программа развития нанотехнологий на период 2001—2006 гг. (с бюджетом в 240 млн долл.).

В результате в Китае наноиндустрия развивается значительными темпами. Здесь фундаментальные исследования в области нанотехнологии в основном проводятся в Пекине, где сосредоточено около 500 исследовательских институтов (включая институты Китайской академии наук), а также 70 университетов (с контингентом в 380 тыс. человек) [11].

В Пекине также находятся свыше 50 национальных лабораторий и более 30 инженерных центров, что превышает 33% от их общего числа в этой стране [11].

Среди них Национальный центр в области науки и нанотехнологии (NCNN) — государственная (обеспеченная самым современным оборудованием) организация, представляющая собой технологическую исследовательскую платформу, предназначенную для использования научным сообществом Китая и реализации различных международных проектов [11].

Этот Центр способствует расширению международного сотрудничества, повышению конкурентоспособности за рубежом китайских исследований в области нанонауки и нанотехнологий, проведению фундаментальных и прикладных исследований [11].

В состав Центра входят лаборатории процессов и приборов; наноматериалов и структур, медицинской и биотехники; исследования характеристик структур и тестирования; координационного и информационного офисов.

Исследовательский центр в области нанотехнологии (Tsinghua — Foxconn Nanotechnology Research Center — TFNRC) расположен в университете Синьхуа. Этот Центр полностью финансируется одним из крупнейших национальных поставщиков электронных изделий и компонентов — Foxconn Technology Group (FTG), доход которого превышает 62 млрд долл., количество сотрудников — свыше 400 тыс. человек. TFNRC был основан в 2003 г. [11]. Главная его задача — разработка и производство УНТ и сопутствующих наноматериалов и наноизделий. Общая стоимость этого Центра и уставленного в нем исследовательского оборудования превышает 35 млн долл.

Муниципальное правительство КНР поддерживает nanoисследования и соответствующие разработки через Научно-техническую комиссию Пекина и главным образом через входящий в ее состав Центр новых материалов [11]. Годовой бюджет этой Комиссии составляет около 14,7 млн долл.

Промышленная реализация нанотехнологии и защита интеллектуальной собственности в этой сфере в Шанхае достигли довольно широкого размаха — свыше 200 предприятий выпускают различные изделия нанотехники, а годовой объем такой продукции (включающей и нанообъекты) увеличился с 25 млрд в 2006 г. до 45 млрд долл. в 2009 г. [11].

К числу наиболее интересных исследовательских учреждений Южной группы Китая относится основанный в 2001 г. Шанхайский центр стимулирования развития нанотехнологии (SNPC), который финансируется центральным и муниципальными правительствами Шанхая, а также Национальной комиссией развития и реформ (NDRC) [11]. Главная задача этого Центра — содействие коммерциализации наиболее перспективных разработок в области наноиндустрии.

Это осуществляется несколькими способами [11]:

- финансированием прикладных работ, через исследовательскую платформу, сформированную для облегчения процесса коммерциализации разработок;
- благодаря созданию необходимых условий для обязательного тестирования наноматериалов;
- через организацию симпозиумов и международных конференций по нанотехнологии;
- посредством обучения ученых и инженеров работе на специализированном оборудовании, используемом для nanoисследований.

Данный Центр является своеобразным инкубатором и оказывает разнообразное содействие стартующим фирмам (до момента их выхода на рынок). Это касается юридических услуг и технологической поддержки. Кроме этого выдаются кредиты на оплату лабораторных помещений и офисов. В настоящее время этим Центром поддерживается около 80 компаний. Годовой бюджет этой организации (выделяемый муниципальным правительством Китая) составляет ~14,7 млн долл.

В 2003 г. был основан Национальный научно-технический центр в области нанотехнологии Национальной комиссией развития и реформ Китая. В этом Центре проводят современные работы Фуданский университет, Шанхайский институт микросистем и информационной технологии, фирма Shanghai Zizhu Venture Capital и др. [11].

Исследовательский центр в области нанонауки Шанхайского университета был создан в 2000 г. [11]. Основные направления работы этой организации: наноматериалы, нанобиология, микро- и наномеханика. В рамках этого Центра формируется региональная база по опытному тестированию применения нанотехнологии.

Был также образован Нанобиомедицинский исследовательский центр Шанхайского университета Jiaotong [11].

Исследовательский институт микро- и нанонауки и технологии (RIMNST) (филиал Шанхайского университета Jiaotong) был создан в 1983 г. [11]. Он был первым исследовательским институтом в Китае, работающим в этой области. RIMNST объединяет несколько исследовательских платформ и превратился в главную лабораторию этой страны по микро- и нанообработке, оснащенную самым современным оборудованием для проведения различных работ в этой области.

Исследования в этой организации осуществляются по следующим направлениям:

- некремниевую микрообработку и МЭМС;
- нанобиомедицинские технологии;
- нанотехнологию и НЭМС.

Согласно Шанхайскому XI плану научно-технического развития основной упор был сделан на информационные технологии (ИТ), а также совершенствование действующих производственных технологий, охрану окружающей среды и здравоохранение [11].

В области ИТ поддержка оказывается исследованиям и разработкам по конструированию, тестированию, разработке технологических процессов и материалов для изготовления интегральных схем (ИС) с характеристическими размерами элементов 90 нм, а также нано- и микротехнологии (в том числе направленные на формирование межсоединений на наноуровне) [11].

В области совершенствования производственной технологии поддержка оказывается конструированию, современным технологическим процессам, системной интеграции и разработке технологии перспективных материалов. Сюда относятся изделия с малым потреблением энергии, оборудование для транспортировки, биомедицинские и электронные приборы, прецизионное цифровое технологическое оборудование [11].

Значительный вклад в прогресс в нанообласти вносят центры в Ксиане (Xi'an) и Ланжу (Lanzhou) (Северо-Запад), Ченгду (Chengdu) (Юго-Запад) и Wuhan (Центральная Южная область Китая) [11].

В Беларуси была проведена подготовительная работа по созданию Национального научно-технологического парка «Белбиоград», а также подготовка проекта «Концепции формирования и развития наноиндустрии в республике», которые вошли в План совместных действий правительства и Национального банка по достижению в 2012 году запланированных параметров социально-экономического развития [3].

Нанотехнологии являются сквозными технологиями, применение которых возможно в различных отраслях национальной экономики — АПК, промышленности и ИТ-сфере [3]. Массовое использование нанотехнологий будет способст-

водить появлению значительного количества белорусских товаров с принципиально новыми свойствами. Поэтому для будущего белорусской экономики актуальным является вопрос выбора оптимальных форм хозяйствования и управления, а также инструментов и механизмов стимулирования и господдержки нанотехнологической отрасли.

В Послании Президента Республики Казахстан народу Казахстана от 17 января 2014 г. были выделены важные сектора национальной экономики: мобильных и мультимедийных технологий, нано- и космических технологий, робототехники, геномной инженерии, поиска и открытия энергии будущего. Сегментирование казахстанского рынка нанотехнологий показано на рис. 1.

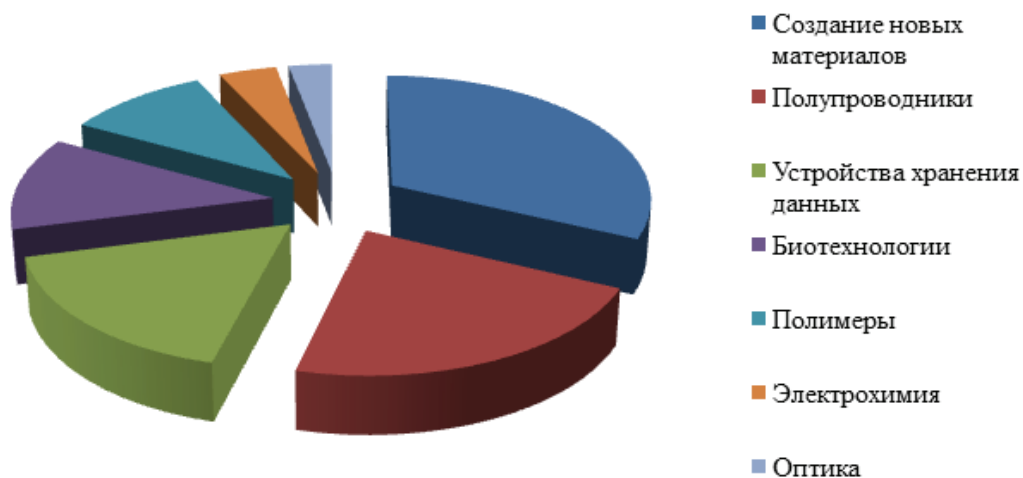


Рис. 1. Сегментирование казахстанского рынка нанотехнологий по направлениям исследований в 2009 г. [2]

В результате в Казахстане был создан и функционирует Технический комитет по стандартизации ТК 72 «Нанотехнологии» [9]. К настоящему времени ТК 72 разработаны первые семь стандартов и проведена экспертиза семи проектов СТ РК.

Развитие и становление nanoиндустрии в Российской Федерации определяется следующими стратегическими документами [6; 12]:

— Концепцией развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий на период до 2010 года (одобрена Правительством РФ 18 ноября 2004 г. № МФ-П7—6194);

— Федеральной целевой программой «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007—2012 годы» (постановление Правительства РФ № 613 от 17 октября 2006 г.). Реализация стратегической цели этой Программы включает два этапа: первый этап — 2008—2011 гг., второй этап — 2012—2015 гг.;

— президентской инициативой «Стратегия развития nanoиндустрии» (№ Пр-688 от 24 апреля 2007 г.);

— федеральной целевой программой «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в Российской Федерации на 2008—2010 годы» (постановление Правитель-

ства РФ № 498 от 2 августа 2007 г.). Динамика распределения средств по направлениям программы показана на рис. 2;

— Программой развития nanoиндустрии в Российской Федерации до 2015 года (одобрена Правительством РФ 4 мая 2008 г. ВЗ-П7-2702). Направления и объемы финансирования приведены в табл. 3;

— Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года (Утв. распоряжением Правительства РФ № 1662-р от 17 ноября 2008 г.).

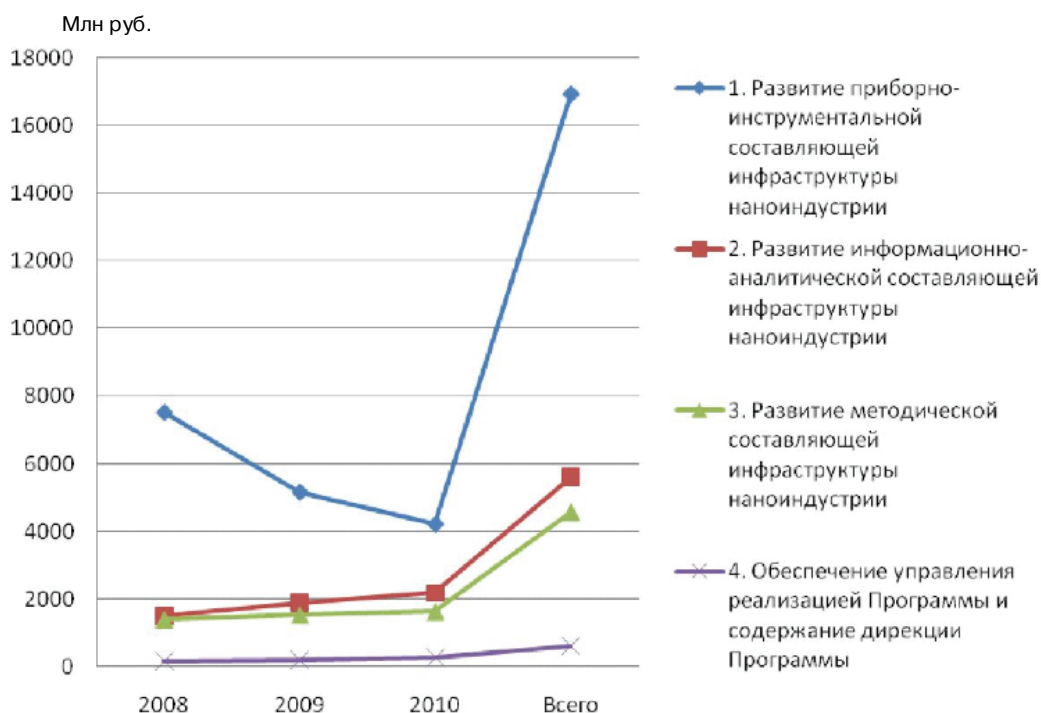


Рис. 2. Динамика распределения средств по направлениям программы развития nanoиндустрии в РФ [7]

Таблица 3

Финансирование «Программы развития в РФ работ в области нанотехнологий и наноматериалов до 2015 г.» [8]

Направления финансирования	Объемы финансирования, млн руб.				
	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2008—2015 гг.
Бюджетное и внебюджетное финансирование НИОКР в специализированных направлениях nanoиндустрии	8 177,8	9 824,9	11 228,9	13 135,6	68 026
Бюджетное и внебюджетное финансирование создания инфраструктуры nanoиндустрии	10 917,5	9 139,7	8 957,8	1 962	30 977
Финансирование инновационных проектов развития nanoиндустрии	140	250	400	600	1 390
Итого	19 235,3	19 214,6	20 586,7	15 697,6	100 393

Особенностью российского подхода к поддержке нанотехнологий можно назвать реализацию с помощью созданной в 2007 г. государственной специализированной российской корпорации нанотехнологий (ГК «Роснанотех») [7]. В ее функции входит организационная и финансовая поддержка инновационной деятельности в сфере нанотехнологий (рис. 3).

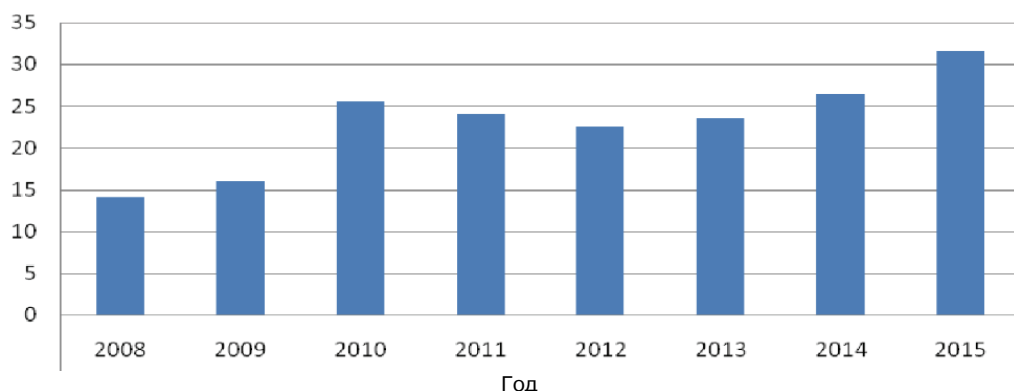


Рис. 3. Динамика объемов инвестиций ГК «Роснанотех» в 2008—2015 гг., млрд руб. [7]

В 2008 г. в ГК «Роснанотех» были приняты решения о финансировании семи инвестиционных проектов на общую сумму 10,3 млрд руб. (средства корпорации — 5,5 млрд руб.) [7].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Алексенко А.Г.* Нанотехнология как основа новой Научно-технической революции // Наука и технологии в промышленности. — 2004. — № 3—4. — С. 56—61. [*Aleksenko A.G.* Nanotehnologiya kak osnova novoy Nauchno-tehnicheskoy revolyutsii // Nauka i tehnologii v promyishlennosti. — 2004. — № 3—4. — S. 56—61.]
- [2] Аналитическая справка развития нанотехнологий в Республике Казахстан. — URL: http://nanotechnology.kz/index.php?id=113&Itemid=555&option=com_content&view=article [*Analiticheskaya spravka razvitiya nanotehnologiy v Respublike Kazahstan.* — URL: http://nanotechnology.kz/index.php?id=113&Itemid=555&option=com_content&view=article]
- [3] В Беларуси разрабатывается концепция формирования и развития nanoиндустрии. — URL: http://naviny.by/rubrics/economic/2012/04/19/ic_news_113_391698 [*V Belarusi razrabatyvaetsya kontseptsiya formirovaniya i razvitiya nanoindustrii.* — URL: http://naviny.by/rubrics/economic/2012/04/19/ic_news_113_391698]
- [4] *Воробьев А.Е., Малуков В.П.* Наноявления и нанотехнологии при разработке нефтяных и газовых месторождений. — М.: РУДН, 2009. — 106 с. [*Vorobev A.E., Malyukov V.P.* Nanoyavleniya i nanotehnologii pri razrabotke neftyanyh i gazovyh mestorozhdeniy. — М.: RUDN, 2009. — 106 s.]
- [5] *Киселев В.Н., Рубвальтер Д.А., Руденский О.В.* Инновационная политика в области нанотехнологий: опыт США и ЕС. [*Kiselev V.N., Rubvalter D.A., Rudenskiy O.V.* Innovatsionnaya politika v oblasti nanotehnologiy: opyt SShA i ES.]
- [6] Концепция развития в РФ работ в области нанотехнологии на период до 2010 г. — М., 2004. [*Kontseptsiya razvitiya v RF rabot v oblasti nanotehnologii na period do 2010 g.* — М., 2004.]

- [7] Механизмы реализации стратегии формирования наноиндустрии в регионах России / Под ред. О.В. Иншакова. — Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2009. — 240 с. [Mehanizmy realizatsii strategii formirovaniya nanoindustrii v regionah Rossii / Pod red. O.V. Inshakova. — Volgograd: Izd-vo VolGU, 2009. — 240 s.]
- [8] Новиков Д.В. Регулирование прямого налогообложения организаций наноиндустрии: Автореф. дисс. ... к.э.н. — М., 2012. [Novikov D.V. Regulirovanie pryamogo nalogooblozheniya organizatsiy nanoindustrii: Avtoref. diss. ... k.e.n. — M., 2012.]
- [9] О состоянии и развитии работ по стандартизации в наноиндустрии. — URL: <http://fitomilli.kz/writes/3/21-gosstandart2009>. [O sostoyanii i razvitiy rabot po standartizatsii v nanoindustrii. — URL: <http://fitomilli.kz/writes/3/21-gosstandart2009>.]
- [10] Рынок нанотехнологий в России. — URL: <http://nanodigest.ru/content/view/574/39>. [Ryinok nanotekhnologiy v Rossii. — URL: <http://nanodigest.ru/content/view/574/39>.]
- [11] Юдинцев В. Становление наноиндустрии в КНР // Наноиндустрия. — Вып. 3. — 2010. [Yudintsev V. Stanovlenie nanoindustrii v KNR // Nanoindustriya. — Vyp. 3. — 2010.]
- [12] <http://www.allbest.ru>.

FORMATION OF MODERN MARKET NANOINDUSTRY

**A.E. Vorobiev, G.A. Kochofa, V.P. Malukov, Z.V. Lysenkova,
I.L. Kapitonova, Zaruma Martin Torres, A.S. Kaukenova,
A.V. Sinchenko, E.V. Chekushina, I.M. Narozhnyi,
R. Ibragimov**

Department of oil-field geology, mining, oil and gas engineering
Faculty of Engineering
Peoples' Friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115093

The article presents the perspectives of the development priorities of the global scientific and technological community, as the use of industrial nanotechnology. The authors analyzed national programs of development of nanotechnology in various countries.

Key words: nanotechnology, nanomaterials, nanotech, intellectual property, software development.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ НА ЭТАПАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА

В.А. Рогов, Д.П. Примиренко, А.С. Кошеленко

Кафедра технологии машиностроения,
металлорежущих станков и инструментов
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 10а, Москва, Россия, 117198

Изложена методология определения характеристики составляющих звеньев технологической размерной цепи дискретной визуализацией изменений каждого звена в пределах его точности и визуальная оценка этого изменения на поведение замыкающего звена при расчете уравнений размерных связей на макс./мин.

Ключевые слова: технология машиностроения, технологический процесс, точность, размерный анализ, граф размерных связей, визуализация.

Рассмотрим размерный анализ вновь проектируемого технологического процесса механической обработки, когда в качестве исходных данных имеется рабочий чертеж детали и метод получения заготовки. Для выполнения размерного анализа технологического процесса (РАТП) применим методику, изложенную в работах [1; 2]. Приведем пример выполнения РАТП корпусной детали (рис. 1) с целью визуализации параметров точности ее размеров на этапах технологического процесса механической обработки. Размерный анализ начинают с преобразования рабочего чертежа, которое включает следующие шаги:

- каждому размеру рабочего чертежа присваивается буквенный символ;
- индексируются цифровыми символами поверхности детали и их оси, участвующие в анализе в достаточном для понимания количестве проекций декартовой системы координат (рис. 1 и 2).

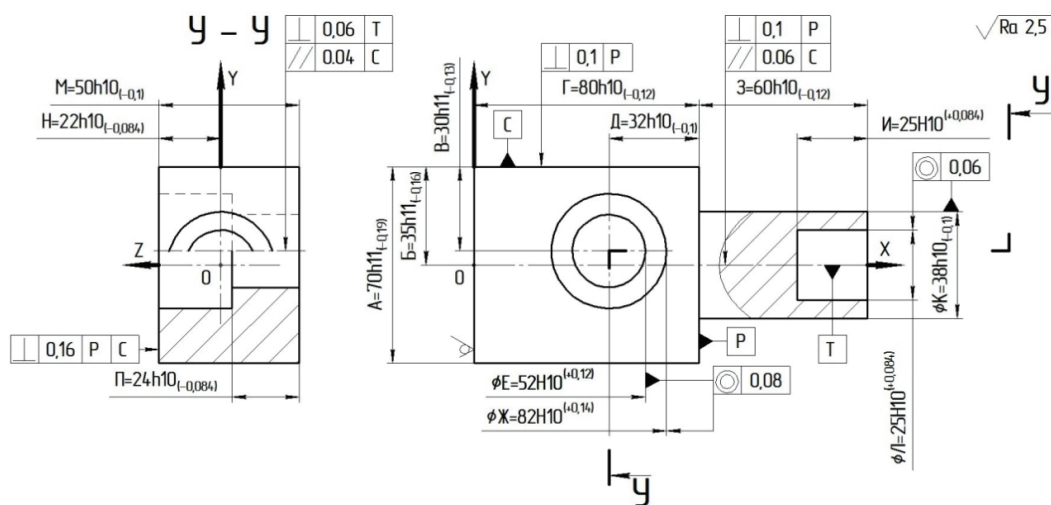


Рис. 1. Преобразованный рабочий чертеж детали для размерного анализа

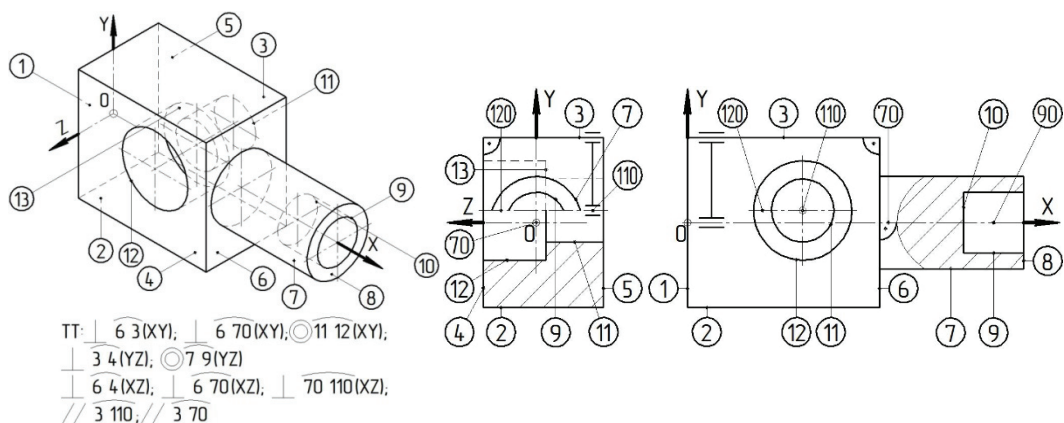


Рис. 2. Цифровое индексирование поверхностей детали в различных проекциях с указанием точностных требований

Поверхности исследуемой детали взаимно ориентируются точностными требованиями (ТТ), которые приведены на рис. 2, под ее изометрическим изображением. При этом соблюдаются следующие требования:

— перпендикулярность поверхностей 6 относительно 3; 6 относительно 70 в плоскости XOY; 3 относительно 4 в плоскости YOZ; 4 относительно 6; 6 относительно 70; 110 относительно 70 в плоскости XOZ;

— соосность отверстий 11 относительно 12 в плоскости XOY; 7 относительно 9 в плоскости YOZ;

— параллельность поверхностей 3 относительно 110; 3 относительно 70.

Анализ рабочего чертежа детали и ее ТТ позволяет выявить поверхности, которые предпочтительнее всего использовать в качестве комплекта единых технологических баз (КЕТБ). Для этого необходимо построить граф размерных конструкторских связей рабочего чертежа детали. Граф строится по трем осям системы координат, которые условно развернуты вдоль одной прямой (рис. 3).

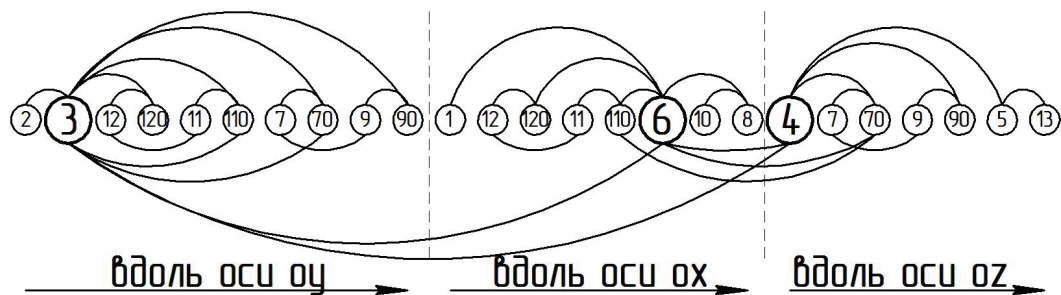


Рис. 3. Граф размерных и ТТ связей рабочего чертежа детали

Поверхности на графе изображены в виде окружностей с соответствующей им цифровой индексацией, а размерные связи между поверхностями выполнены линиями, соединяющими эти окружности. Размеры между поверхностями и их осями изображены дугами сверху над окружностями в пределах одной оси, а ТТ

отклонений расположения — изображены дугами снизу под окружностями, которые соединяют поверхности, либо оси различных поверхностей (см. рис. 3). На графе вдоль каждой оси системы координат определяется поверхность, к которой проведено наибольшее количество связей. Так, вдоль оси OY — поверхность 3, вдоль оси OX — поверхность 6, а вдоль оси OZ — поверхности 4 или 5.

Таким образом, КЕТБ чистовых баз следует образовать поверхностями 3 : 6 : (4 или 5). Более предпочтительный вариант выявляется размерным анализом. Выбор черновых баз здесь не рассматривается, так как является отдельным вопросом. Прежде чем приступить к выполнению размерного анализа, необходимо разработать технологический процесс механической обработки детали, назначить схемы базирования на каждой операции, назначить точности на размеры обработки элементарных поверхностей, обеспечиваемые от технологических баз, рассчитать величины минимальных операционных припусков, определить размерные связи и величины допусков заготовки, руководствуясь методом ее получения. На основании этих исходных данных строится пооперационная схема размерных связей технологического процесса. В конкретном случае, с целью минимизации изложения этапов по проектированию техпроцесса обрабатываемой детали, остановимся на анализе пооперационной схемы размерных связей готового технологического процесса вдоль оси OZ в плоскости YOZ (рис. 4). В таблице (рис. 4) на операционных эскизах обрабатываемые поверхности показаны жирно. По данной размерной схеме построим граф размерных связей всех поверхностей, которые формируются вдоль оси OZ в плоскости YOZ (рис. 5). Вершинами графа являются

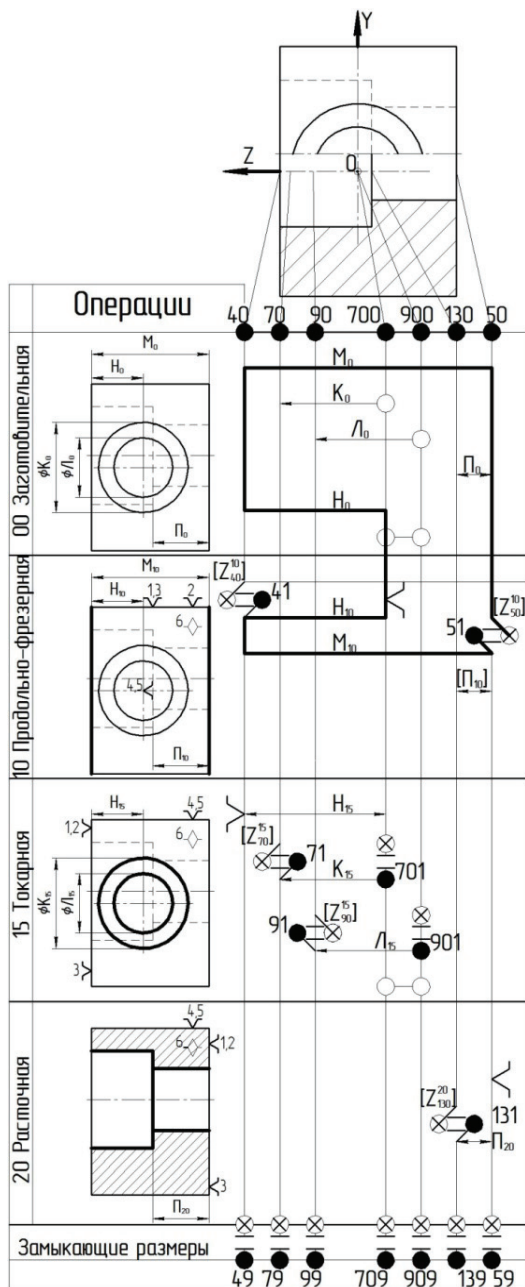


Рис. 4. Пооперационная схема размерных связей техпроцесса детали вдоль оси OZ

окружности, символизирующие поверхности детали, ребрами графа — размерные связи, причем разное схематическое обозначение линий определяет роль ребра в графе.

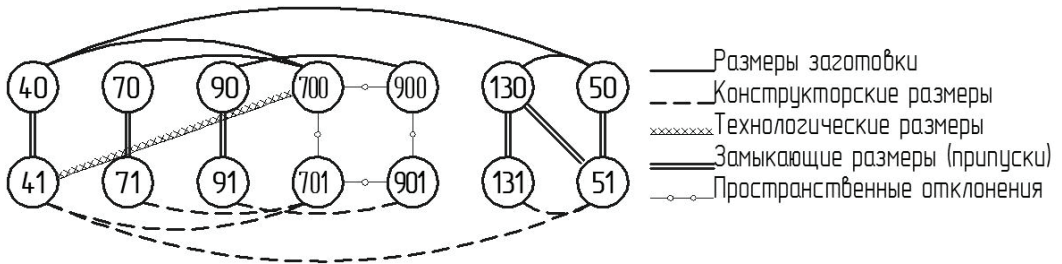


Рис. 5. Граф размерных связей технологического процесса вдоль оси OZ

Из анализа графа размерных связей выявляются технологические размерные цепи, для которых записываются уравнения в каждое из которых входит только одно замыкающее звено, а остальные звенья уравнения будут составляющими. Выберем на графе размерный контур (рис. 6) с замыкающим звеном $[Z_{50}^{100}]$ — припуском на поверхности с индексом 50, подлежащим к удалению во время фрезерной операции 10 (см. рис. 4). Запишем уравнение этого размерного контура относительно замыкающего звена минимального припуска: $[Z_{50}^{100}] = \pm M_0 \pm H_0 \pm H_{10} \pm M_{10}$.

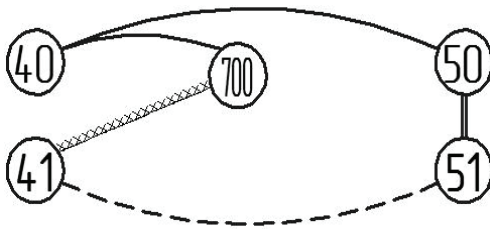


Рис. 6. Выявление уравнения замыкающего звена $[Z_{50}^{100}]$ из графа размерных связей техпроцесса вдоль оси OZ

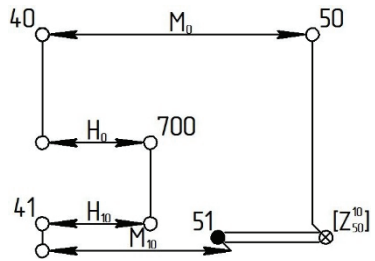


Рис. 7. Оцениваемый контур схемы пооперационных (№ 00—10) размерных связей техпроцесса вдоль оси OZ

Однако для его решения требуется определить знаки входящих в это уравнение составляющих звеньев, что позволит установить их характеристику.

По графу размерных связей выявить характеристики составляющих звеньев невозможно. Пооперационная схема размерных связей технологического процесса позволяет выявить характеристику составляющих звеньев. Так для коротких размерных цепей эта процедура не вызывает особых затруднений, но для длинных размерных цепей выявление характеристики увеличивающего или уменьшающего звена часто приводит к ошибкам. С этой задачей поможет справиться визуализация параметров точности формирующихся размеров на всех этапах технологического процесса механической обработки детали.

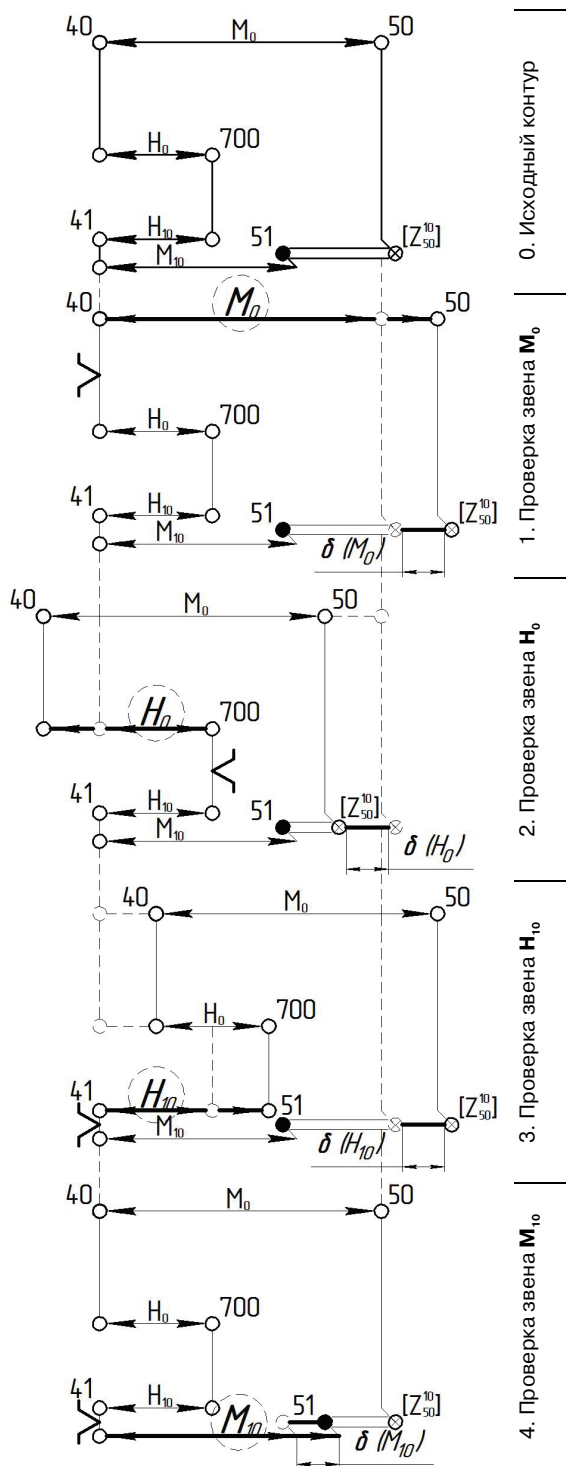


Рис. 8. Визуализация влияния составляющих звеньев размерных связей техпроцесса вдоль оси Z на изменение замыкающего звена $[Z_{50}^{100}]$

В выбранном размерном контуре (заготовка 00 — операция 10, см. рис. 7) выявим характеристики составляющих звеньев, их поведение в размерной цепи по отношению к замыкающему звену, что позволит принять решение, какими они являются — уменьшающимися, или увеличивающимися. На рис. 8 предлагается методика определения характеристики составляющих звеньев технологического контура рис. 7. Пошагово визуализируем изменения каждого звена цепи в пределах его точности и выявляем влияние этого изменения на поведение замыкающего звена при расчете уравнений размерных связей на макс./мин. Такая методология позволяет минимизировать ошибки при составлении и решении уравнений технологических размерных цепей.

На схеме (рис. 8) последовательно визуально тестируется каждое составляющее звено размерного контура. Сначала исследуется звено M_0 на этапе 1. Фиксируем символом опорной точки на поверхности 40 левый конец размера M_0 , а правый его конец перемещаем вместе с поверхностью 50 на величину допуска $\delta(M_0)$. При совершении этой процедуры все остальные поверхности и, следовательно, связанные с ними размеры остаются неподвижными, т.е. не изменяются. Остается неподвижной и поверхность 51, принадлежащая левой границе замыкающего размера $[Z_{50}^{100}]$, а правая его граница смещается вместе с поверхностью 50 на величину допуска $\delta(M_0)$.

Таким образом, визуализируется увеличение замыкающего звена размерного контура при увеличении составляющего звена M_0 , и, следовательно, оно является увеличивающим звеном размерной цепи. Поэтому в уравнение размерной цепи это звено входит с минимальным значением и положительным знаком. Далее обходим размерный контур против часовой стрелки. На этапе 2 исследуем составляющее звено H_0 . Символ опорной точки поставим на поверхность 700, которая является осью цапфы, т.е. скрытой черновой базой. На начало тестирования каждого составляющего звена размерный контур принимает исходные параметры этапа 0. Это условие графически изображено пунктирными линиями, а проверяемое звено и его изменение на величину допуска изображено жирной линией. Одновременно визуализировано изменение жирной линией замыкающего звена на величину изменения проверяемого составляющего звена. На основании изложенного и с учетом визуализации всех остальных составляющих звеньев и их влияния на замыкающее звено $[Z_{50}^{100}]$, приведем характеристики: звено H_0 — уменьшающее в пределах допуска размера $H_0 - \delta(H_0)$, мм; звено H_{10} — увеличивающее в пределах допуска размера $H_{10} - \delta(H_{10})$, мм; звено M_{10} — уменьшающее в пределах допуска размера $M_{10} - \delta(M_{10})$, мм. Вышеприведенное уравнение размерного контура на основании установленной визуализацией характеристики составляющих звеньев принимает вид:

$$[Z_{50}^{100}] = +\overrightarrow{M_0^{\min}} - \overrightarrow{H_0^{\max}} + \overrightarrow{H_{10}^{\min}} - \overrightarrow{M_{10}^{\max}}.$$

Разработаны параметрические модели размерных связей технологического процесса путем наложения ограничений (связей) на объекты начерченных ранее изображений, т.е. реализована вариационная параметризация. Параметризация двухмерных объектов доступна практически во всех современных САх (computer-aided technologies) системах. В сравнении с обычным изображением, которое представлено исключительно характеристиками геометрических объектов и их расположением, в параметрическом изображении сохраняется информация о взаимосвязях между объектами и наложенными на них ограничениями. Взаимосвязь объектов реализуется наложением зависимости на параметры между несколькими объектами. Редактирование одного из взаимосвязанных параметров приводит к изменению других параметров. При редактировании параметрами одного объекта, не имеющего общих связей с параметрами других объектов, никакие параметры не подлежат изменению. Для создания ограничения параметра объекта записывается зависимость между параметрами отдельного объекта или равенство параметра данного объекта константе. Использование переменных в моделях позволяет изменять параметры объектов, не прибегая к их редактированию. В созданных моделях размерных связей технологического процесса используются переменные предельных отклонений для задания значений предельных отклонений управляющих и зависимых размеров. Геометрическими объектами в данном случае будут выступать составляющие и замыкающие звенья технологических размерных цепей. Взаимосвязь же реализуется между параметрами составляющих

и одним замыкающим звеньями выявленных технологических размерных цепей. Таким образом, при редактировании одним из взаимосвязанных параметров управляющего составляющего звена — предельным отклонением размера и наложением ограничения на взаимосвязь с одной из поверхностей, от которой оно образуется, появляется визуальная возможность оценить его влияние на зависимое — замыкающее звено размерной цепи, при этом параметры других составляющих звеньев не изменяются. По данному методу исследуется каждое составляющее звено размерной цепи и их влияние на изменение замыкающего звена. Такая методология позволяет минимизировать ошибки при составлении и решении уравнений размерных цепей технологического процесса и может быть использована в процессе подготовки специалистов-технологов машиностроительного производства.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Размерный анализ технологических процессов / В.В. Матвеев, М.М. Тверской, Ф.И. Бойков и др. — М.: Машиностроение, 1982. — 264 с. [Razmerny analiz tehnologicheskikh processov / V.V. Matveev, M.M. Tverskoj, F.I. Bojkov I dr. — M.: Mashinostroenie, 1982. — 264 s.]
- [2] Жедь О.В., Кошеленко А.С., Махов А.А. Размерный анализ технологических процессов: Учеб. пособие. — М.: Изд-во РУДН, 2002. — 139 с. [Jed O.V., Koshelenko A.S., Makhov A.A. Razmerny analiz tehnologicheskikh processov: Ucheb.posobie. — M.: Izd-vo RUDN, 2002. — 139 s.]

ACCURACY OF THE PROPORTIONS PARAMETERS VISUALIZATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS PARTS BEING MECHANICALLY PROCESSED. DIMENSIONAL ANALYSIS APPLIED

**V.A. Rogov, D.P. Primirenko,
A.S. Koshelenko**

Department of Mechanical Engineering, Machine Tools and Tooling
Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

The article deals with the methodology of determining the characteristics of the component parts of the technological dimensional chain through discrete visualization of changes of each part within its accuracy and visual estimation of this change on changing operation of the closing link when calculating equations on max. /min.

Key words: mechanical engineering technology, technological process, accuracy, dimensional analysis, flow chart of dimensional restraint, visualization.

НАШИ АВТОРЫ

Абрамов Владимир Юрьевич — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры месторождений полезных ископаемых и их разведки им. В.М. Крейтера инженерного факультета Российского университета дружбы народов (e-mail: geophy-rudn@mail.ru)

Антонио Фермин Кампос Седеньо — аспирант кафедры гидравлики и гидротехнических сооружений инженерного факультета Российского университета дружбы народов (e-mail: eks47@mail.ru)

Басов Юрий Константинович — кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и сооружений инженерного факультета Российского университета дружбы народов (e-mail: Yu.k.Basov@mail.ru)

Бестужева Наталья Александровна — ведущий геолог, магистр техники и технологии по специальности «Геология поиска и разведки месторождений нефти и газа» ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт» (e-mail: natalya@bestuzhev.net)

Беляев Виктор Васильевич — доктор технических наук, профессор кафедры кибернетики и мехатроники инженерного факультета Российского университета дружбы народов (e-mail: vik_belyaev@mail.ru)

Бункина Наталья Алексеевна — кандидат технических наук, доцент Московского авиационного института (Национальный исследовательский университет) (e-mail: vik_belyaev@mail.ru)

Власов Павел Николаевич — аспирант кафедры месторождений полезных ископаемых и их разведки РУДН инженерного факультета Российского университета дружбы народов (e-mail: mdf.rudn@mail.ru)

Воробьев Александр Егорович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела инженерного факультета РУДН (e-mail: fogel_al@mail.ru)

Горбунов Артем Александрович — ведущий инженер кафедры кибернетики и мехатроники инженерного факультета Российского университета дружбы народов (e-mail: gorbunov_aa_84@mail.ru)

Грицук Илья Игоревич — кандидат технических наук, младший научный сотрудник лаборатории «Динамика русловых потоков и ледотермики» Института водных проблем РАН

Дебольский Владимир Кириллович — доктор технических наук, зав. лаб., зав. отделом охраны водной среды Института водных проблем РАН

Дивеев Асхат Ибрагимович — доктор технических наук, профессор, зав. сектором проблем кибернетики Вычислительного центра им. А.А. Дородницына РАН (e-mail: aidiveev@mail.ru)

Жорж Наталья Владимировна — ассистент кафедры месторождений полезных ископаемых и их разведки инженерного факультета РУДН (e-mail: mdf.rudn@mail.ru)

Зубкова Елизавета Валерьевна — старший преподаватель кафедры месторождений полезных ископаемых и их разведки инженерного факультета РУДН (e-mail: mdf.rudn@mail.ru)

Ибрагимов Р. — магистр кафедры нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела инженерного факультета РУДН (e-mail: fogel_al@mail.ru)

Капитонова Ирина — заведующая лабораторией рационального недропользования кафедры нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела РУДН (e-mail: fogel_al@mail.ru)

Каукенова Асем Сабитовна — аспирант кафедры нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела РУДН (e-mail: fogel_al@mail.ru)

Клавдиева Наталья Владимировна — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Филиала «Апрелевское отделение ВНИГНИ» (e-mail: nklavdi@vnigni.ru)

Костылева Виктория Васильевна — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Геологического института РАН (e-mail: kovikto@yandex.ru)

Котельников Александр Евгеньевич — кандидат геолого-минералогических наук, ст. преподаватель кафедры месторождений полезных ископаемых и их разведки РУДН (e-mail: aekot@rambler.ru)

Кошеленко Адольф Семенович — доцент кафедры Технологии машиностроения, металлорежущих станков и инструментов инженерного факультета РУДН

Кузнецов Евгений Борисович — профессор кафедры 803 «Дифференциальные уравнения» Московского авиационного института (национального исследовательского университета) (МАИ), доктор физико-математических наук (e-mail: kuznetsov@mai.ru)

Леонов Сергей Сергеевич — аспирант кафедры 803 «Дифференциальные уравнения» Московского авиационного института (национального исследовательского университета МАИ) (e-mail: powerandglory@yandex.ru)

Макаров Евгений Васильевич — кандидат физико-математических наук, доцент, доцент МГУМ (МАМИ)

Малюков Валерий Павлович — кандидат технических наук, доцент кафедры нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела РУДН (e-mail: v_malyukov@mail.ru)

Мартин Зарума Торес — магистр кафедры нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела инженерного факультета РУДН (e-mail: fogel_al@mail.ru)

Масликова Оксана Яковлевна — кандидат технических наук, сотрудник Лаборатории динамики русловых потоков и ледотермики Института водных проблем РАН (e-mail: oksana68@mail.ru)

Мойсеенко Сергей Владимирович — аспирант кафедры кибернетики и мехатроники инженерного факультета Российского университета дружбы народов (e-mail: cormorant.xiii@mail.ru)

Муравский Александр Анатольевич — кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией, Институт новых материалов НАН Беларуси (e-mail: vik_belyaev@mail.ru)

Муравский Анатолий Александрович — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт новых материалов НАН Беларуси (e-mail: vik_belyaev@mail.ru)

Монахов Игорь Александрович — кандидат технических наук, профессор МГУМ (Механико-технологический факультет Московского государственного машиностроительного университета МАМИ) (e-mail: monakhov-i@yandex.ru)

Мюрсепп Антон Геннадьевич — аспирант кафедры месторождений полезных ископаемых и их разведки РУДН (e-mail: mdf.rudn@mail.ru)

Нарожный И.М. — магистр кафедры нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела инженерного факультета РУДН (e-mail: fogel_al@mail.ru)

Нефедова Инга Васильевна — кандидат геолого-минералогических наук, доцент, МГУМ (Механико-технологический факультет Московского государственного машиностроительного университета МАМИ МГМУ) (e-mail: nefing@mail.ru)

Пономарев Николай Константинович — кандидат технических наук, декан инженерного факультета, доцент кафедры гидравлики и гидротехнических сооружений Российского университета дружбы народов (e-mail: rudneng@mail.ru)

Попов Иван Викторович — старший конструктор ОАО «Корпорация «Комета» (e-mail: vik_belyaev@mail.ru)

Попова Наталья Сергеевна — аспирант кафедры месторождений полезных ископаемых и их разведки инженерного факультета РУДН (e-mail: natalia061187@yandex.ru)

Примиренко Данил Петрович — студент магистратуры 2-го года обучения кафедры технологии машиностроения, металлорежущих станков и инструментов инженерного факультета РУДН

Пупков Константин Александрович — доктор технических наук, заслуженный деятель науки и техники РФ, академик РАЕН, профессор, заведующий кафедрой кибернетики и мехатроники Российского университета дружбы народов (e-mail: ktk_rudn@mail.ru)

Пыжова Евгения Сергеевна — аспирант кафедры месторождений полезных ископаемых и их разведки инженерного факультета РУДН, специалист-эксперт, Минприроды России (e-mail: eseregina@mnr.gov.ru)

Рогов Владимир Александрович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения, металлорежущих станков и инструментов инженерного факультета РУДН

Ромеро Барренечеа Моисес Эсау — кандидат геолого-минералогических наук, доцент-методист кафедры месторождений полезных ископаемых и их разведки им. В.М. Крейтера Российского университета дружбы народов (e-mail: moises0555@mail.ru)

Синиченко Евгений Константинович — кандидат технических наук, доцент-исследователь кафедры гидравлики и гидротехнических сооружений Российского университета дружбы народов (e-mail: eks47@mail.ru)

Синченко Анна Владимировна — аспирант кафедры нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела Российского университета дружбы народов (e-mail: anna_sinchenko@list.ru)

Соколов Сергей Юрьевич — кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Геологического института РАН (e-mail: sysokolov@yandex.ru)

Соломатин Алексей Сергеевич — кандидат физико-математических наук, инженер Московского государственного областного университета (e-mail: vik_belyaev@mail.ru)

Трабелсси Салим — аспирант кафедры нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела Российского университета дружбы народов (e-mail: fogel_al@mail.ru)

Филатова Людмила Константиновна — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры месторождений полезных ископаемых и их разведки РУДН (e-mail: filatova.lk@mail.ru)

Филатов Евгений Иванович — доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ) (e-mail: E_filatov@mail.ru)

Чамов Николай Петрович — доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией Геологического института РАН (e-mail: nchamov@yandex.ru)

Чекушина Елена Владимировна — инженер-математик кафедры нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела инженерного факультета РУДН (e-mail: tanija_th@mail.ru)

Черных Елена Михайловна — старший научный сотрудник, Филиал «Апрелевское отделение ВНИГНИ» (e-mail: nklavdi@vnigni.ru)

Шмалько Елизавета Юрьевна — кандидат технических наук, научный сотрудник Вычислительного центра им. А.А. Дородницына РАН (e-mail: e.shmalko@gmail.com)

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РУКОПИСЕЙ СТАТЕЙ ДЛЯ ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК РУДН, СЕРИЯ „ИНЖЕНЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ“»

Журнал «Вестник РУДН, серия „Инженерные исследования“» принимает к публикации материалы на русском и английском языках (по выбору автора), содержащие результаты оригинальных исследований, оформленные в соответствии с требованиями к оформлению рукописей статей.

Публикации в журнале подлежат только оригинальные статьи. Опубликованные материалы (как в традиционных, так и в электронных изданиях), а также материалы, представленные для публикации в другие журналы, к рассмотрению не принимаются.

Представляемая для публикации статья должна описывать результаты самостоятельного научного исследования, проведенного автором (авторами) или с участием автора. Научная новизна работы и собственный авторский вклад должны быть ясно видны из содержания статьи. Статьи, содержащие только обзор состояния какой-либо проблемы, а не собственные новые научные результаты авторов, могут приниматься при специальном согласовании с редколлегией. В этом случае обзорный характер статьи должен быть ясно оговорен в ее тексте.

Общие требования к оформлению статей:

— текстовый редактор Word (версия 2003 г.), шрифт Times New Roman, формат А4, размер 12, интервал 1,5; поля страниц: слева, справа, снизу — по 3,5 см, сверху — 4 см;

— абзацы разделяются красной строкой, отступ — 0,5 см;

— объем до 12 стр., включая раздел ЛИТЕРАТУРА (увеличение объема возможно только после консультации с *Главным редактором серии*);

— аннотация (на русском и английском языках) — размер шрифта 10, ЛИТЕРАТУРА (назв. и список) — размер шрифта 12, интервал 1,5;

— список ключевых слов (на русском и английском языках);

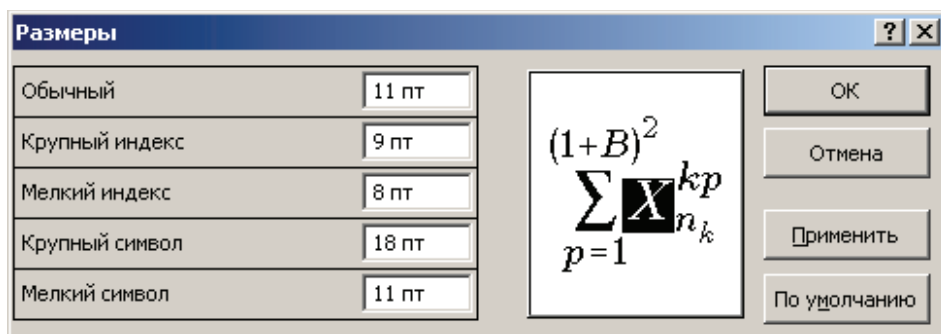
— материалы предоставляются в электронном и в напечатанном виде; автор также сообщает следующие сведения: тел., e-mail, место работы, должность, ученая степень и звание;

— рукописи принимаются Ответственным секретарем серии после согласования с Главным редактором серии или заместителем Главного редактора серии;

— для сносок, отсылающих к ЛИТЕРАТУРЕ, использовать квадратные скобки [], например: [5. С. 400]; список ЛИТЕРАТУРА формируется по алфавиту (сначала источники на русском языке, затем — на английском);

— формулы создаются в виде объектов редактором формул Equation 3.0, центрируются; нумерация, если она необходима, ставится справа в скобках; выравнивание по правому краю. Небольшие формулы можно размещать не в отдельной строке, а в тексте. После формул нужно ставить знаки препинания в соответствии с орфографией. Не рекомендуется использовать в редакторе формул русские буквы. Греческие буквы рекомендуется всегда помещать в редактор формул в нена-

клонном виде (прямой обычный), латинские — в наклонном (*светлый курсив*). Векторы изображаются полужирным прямым шрифтом. Размеры шрифта в Equation 3.0 следует установить следующие:



Если эти требования не соблюдаются, то за неоднозначность прочтения формул во всех версиях издания ответственность несет автор.

На таблицы и рисунки в тексте должны быть ссылки. Таблицы должны иметь название, а рисунки — подрисуночные подписи.

Рисунок должен быть оформлен как отдельный объект в тексте статьи, **расположение поверх текста не допускается**; рисунок отделяется от текста сверху и снизу пустой строкой. Рекомендуется использовать черно-белую палитру, качество воспроизведения рисунков цветной палитры не гарантируется. **Если рисунок имеет серый фон (частое явление после сканирования исходных рисунков), то редакция за качество печати таких рисунков не отвечает.** Подпись центрируется, шрифт — 10 пт (см. ниже). Для растровых рисунков шириной на всю страницу рекомендуемое число пикселей по горизонтали от 500 до 2000. Символы на рисунке должны быть близки по размеру к основному тексту.

Образец оформления рисунка:

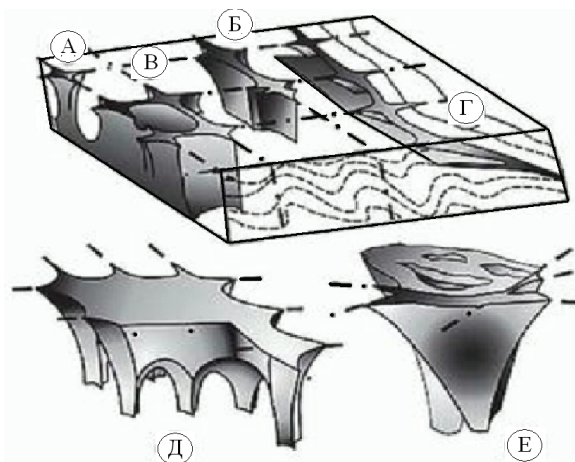


Рис. 1. Основные морфологические модели структурных ловушек и карстовых воронок в ложе россыпи (по Н.А. Шило [6]):

А — одиночные воронкообразные тела; Б — линейные тела; В — сетчатые штокверки; Г — пластовые тела, локализованные вдоль надвиговых структур, межформационных контактов и границ литологически разнородных пород; Д — многокорневые структуры; Е — формы обложения тектонических трещин

В конце статьи (после раздела ЛИТЕРАТУРА) указывается на английском языке (или на русском языке, если статья на английском): название статьи; инициалы и фамилия автора; полный рабочий адрес автора, аннотация (3—4 строки) и ключевые слова.

Список литературы оформляется в соответствии с образцом, приведенным ниже. Если использованный источник имеет название на русском языке, то дополнительно выполняется транслитерация названия и всех выходных данных этого источника, заключенная в квадратные скобки. Транслитерация может быть выполнена по следующим стандартам: ISO9:1995, ГОСТ 7.79-2000, ГОСТ 52535.1-2006.

Образец оформления заглавия:

УДК 519.714

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТОМ С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

А.А. Внуков¹, М.С. Афонин²

¹Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН
ул. Вавилова, 40, Москва, Россия, 119333

²Кафедра кибернетики и мехатроники
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

Образец оформления списка литературы:

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *А.Н. Дмитриевский, Ю.А. Волож, И.Е. Баланюк, А.Е. Карякин* Автоколебательная модель формирования месторождений гигантов (на примере Астраханского месторождения) // Докл. АН РФ. Сер. «Геология». — 2001. — Т. 381. — № 3. — С 1—3. [*A.N. Dmitrievskij, Volozh Ju.A., I.E. Balanjuk, A.E. Karjakin* Avtokolebatel'naja model' formirovanija mestorozhdenij gigantov (na primere Astrahanskogo mestorozhdenija) // Dokl. AN RF. Ser. «Geologija». — 2001. — Т. 381. — № 3. — С. 1—3.]
- [2] *А.Я. Бродский, В.В. Пыхалов, О.В. Тинакин, А.К. Токман, А.Ю. Комаров* Развитие разрывных нарушений и зон очаговой трещиноватости и их влияние на распределение ФЕС отложений Астраханского свода // Газовая промышленность. — 2010. — № 5. — С. 22—25. [*Brodskij A.Ja., V.V. Pyhalov, O.V. Tinakin, A.K. Tokman, Komarov A.Ju.* Razvitie razryvnyh narushenij i zon ochagovoj treshhinovatosti i ih vlijanie na raspredelenie FES otlozhenij Astrahanskogo svoda // *Gazovaja promyshlennost'*. — 2010. — № 5. — С. 22—25.]
- [3] Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных пластов и скважин / Под ред. Г.А. Зотова, З.С. Алиева. — М.: Недра, 1980. [*Instrukcija po kompleksnomu issledovaniju gazovyh i gazokondensatnyh plastov i skvazhin* / Pod red. G.A. Zotova, Z.S. Alieva. — М.: Nedra, 1980.]

ВЕСТНИК
Российского университета
дружбы народов

Серия
ИНЖЕНЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научный журнал

2015, № 1

Редактор *И.В. Успенская*
Компьютерная верстка: *Е.П. Довголевская*

Адрес редакции:
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419
Тел.: (495) 955-07-16

Адрес редакционной коллегии
серии «Инженерные исследования»:
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419
Тел.: (495) 955-07-92
E-mail: ktk_rudn@mail.ru

Подписано в печать 29.03.2015. Формат 60×84/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Times New RomanPS».
Усл. печ. л. 18,14. Тираж 500 экз. Заказ № 5

Типография ИПК РУДН
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419
тел. (495) 952-04-41

BULLETIN
of Peoples' Friendship
University of Russia

Series
ENGINEERING RESEARCHES

Scientific journal

2015, N 1

Editor *I.V. Uspenskaya*
Computer design *E.P. Dovgolevskaya*

Address of the editorial board:
Peoples' Friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419
Tel. +7 (495) 955-07-16

Address of the editorial board
Series «Engineering researches»:
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419
Tel. + (495) 955-07-92
E-mail: ktk_rudn@mail.ru

Printing run 500 copies

Address of PFUR publishing house
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419
Tel. +7 (495) 952-04-41

ф. СП-1

ФГУП «ПОЧТА РОССИИ»

АБОНЕМЕНТ на журнал

18230

(индекс издания)

ВЕСТНИК РУДН
Серия «Инженерные исследования»

Количество комплектов:

на 2015 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА

ПВ	место	литер

на журнал

18230

(индекс издания)

ВЕСТНИК РУДН

Серия «Инженерные исследования»

Стоимость	подписки	_____ руб. _____ коп.	Количество комплектов:	
	переадресовки	_____ руб. _____ коп.		

на 2015 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

ф. СП-1

ФГУП «ПОЧТА РОССИИ»

АБОНЕМЕНТ на журнал

(индекс издания)

ВЕСТНИК РУДН

Серия _____

Количество
комплектов:

на 2015 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА

на журнал

(индекс издания)

ПВ	место	литер

ВЕСТНИК РУДН

Серия _____

Стои- мость	подписки	руб. _____ коп.	Количество комплектов:
	переадресовки	руб. _____ коп.	

на 2015 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)