



№ 2/2018

IN THE ISSUE:

**GARNET-KYANITE VEINS IN
SALMA ECLOGITES, BELOMORIAN
ECLOGITE PROVINCE**



**ESTIMATION OF WAVE ENERGY
RESOURCES OF THE BLACK SEA**



**THERMODYNAMIC
ASSESSMENT OF THE PARISITE
AND BASTNESITE FORMATION IN
SODA LAKES OF EAST
TRANSBAIKALIA**



**NEW METHOD FOR
DEVELOPING INHOMOGENEOUS
PLASTES WITH LOW AND HIGH
PERMEABILITY ZONES**



GeoScience

S C I E N T I F I C J O U R N A L

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ / EDITORIAL BOARD**Петр Докукин / Peter Dokukin**

главный редактор, кандидат технических наук (Россия) /
Chief Editor, PhD in Geodesy (Russia)

Владимир Владимиров / Vladimir Vladimirov

кандидат геолого-минералогических наук (Россия) / PhD in
Geological and Mineralogical Science (Russia)

Иоаннис Гитас / Ioannis Gitas

PhD, профессор (Греция) / Head of Editorial Council, PhD in GIS
(Greece)

Радим Гарецкий / Radim Garetsky

академик РАН, академик НАН Беларуси, доктор геолого-
минералогических наук, профессор (Республика Беларусь) /
Academician of RAS, Academician of National Academy of Science
of Belarus, Doctor of Geological and Mineralogical Science,
professor (Belarus)

Ксения Докукина / Ksenia Dokukina

кандидат геолого-минералогических наук (Россия) / PhD in
Geological and Mineralogical Science (Russia)

Юрий Ерохин / Yuriy Erokhin

кандидат геолого-минералогических наук (Россия) / PhD in
Geological and Mineralogical Science (Russia)

Эй-Хсинг Жу / A-Xing Zhu

PhD, профессор (США) / PhD, professor (USA)

Михаил Кабан / Mikhail Kaban

доктор физико-математических наук (Германия) / Doctor of
Science (Germany)

Александр Карпик / Aleksandr Karpik

доктор технических наук, профессор (Россия) / Doctor of
Technical Science, professor (Russia)

Владимир Кафтан / Vladimir Kaftan

доктор технических наук (Россия) / Doctor of Technical
Science (Geoinformatics) (Russia)

Сергей Лебедев / Sergey Lebedev

доктор физико-математических наук (Россия) / Doctor of
Science (Russia)

Юджин Левин / Eugene Levin

PhD, доцент (США) / PhD, Associate Professor, (USA)

Василий Малинников / Vasily Malinnikov

доктор технических наук, профессор (Россия) / Doctor
of Technical Science (Geodesy), professor (Russia)

Михаил Минц / Michail Mints

доктор геолого-минералогических наук (Россия) / Doctor of
Geological and Mineralogical Science (Russia)

Анатолий Певнев / Anatoly Pevnev

доктор технических наук, профессор (Россия) / Doctor of
Technical Science, professor (Russia)

Вадим Плющиков / Vadim Plyushikov

доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия) /
Doctor of Agriculture Science, professor (Russia)

Александр Прищепов / Alexandr Prishchepov

PhD, доцент (Дания) / PhD, Associate Professor (Denmark)

Игорь Савин / Igor Savin

член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных
наук, профессор (Россия) / Corresponding member of RAS,
Doctor of Agriculture Science (Russia)

Виктор Савиных / Victor Savinykh

член-корреспондент РАН, доктор технических наук,
профессор (Россия) / Corresponding member of RAS, Doctor of
Technical Science (Geodesy), professor (Russia)

Сергей Харченко / Sergey Kharchenko

доктор физико-математических наук, профессор (Россия) /
Doctor of Physical and Mathematician Science, Professor (Russia)

РЕДАКЦИЯ / TECHNICAL BOARD**Петр Докукин / Peter Dokukin****Владимир Кафтан / Vladimir Kaftan****Гаик Атмачьян / Gaik Atmachyan****Артемий Алексеев / Artemiy Alexeev****Антон Поддубский / Anton Poddubsky****Денис Парпура / Denis Parpura**

Свидетельство Роскомнадзора Эл№Фс77-44805 от 29.04.2011

ISSN: 2223-0831

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования

Учредители (издатели): РУДН, ООО «ГеоДозор», Россия, Москва

Издается совместно с Российским университетом дружбы народов

Почтовый адрес редакции: Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8 кор. 2, каб. 445

Электронный адрес: <http://geo-science.ru>

Электронная почта: journal@geo-science.ru

Размещение статьи в номере журнала на его официальном интернет-сайте <http://geo-science.ru> является свидетельством публикации.

Авторские права сохраняются в соответствии с международными правилами.

Авторы статей несут ответственность за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция не всегда разделяет мнения авторов и не несет ответственности за недостоверность публикуемых данных. Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи. Редакция вправе изъять уже опубликованную статью, если выяснится, что в процессе публикации статьи были нарушены чьи-либо права или общепринятые нормы научной этики. О факте изъятия статьи редакция сообщает автору, который представил статью, рецензенту и организации, где работа выполнялась.

Правила предоставления статей и требования к их оформлению размещены на официальном сайте журнала по адресу <http://geo-science.ru>

ГЕОЛОГИЯ / GEOLOGY	
<i>Докукина К.А., Конилов А.Н., Баянова Т.Б., Ризванова Н.Г., Сергеева Н.А., Ван К.В., Пожиленко В.И.</i> Гранат-кианит-кварцевые жилы в эклогитах Салмы, Беломорская эклогитовая провинция / <i>Dokukina K.A., Konilov A.N., Bayanova T.B., Risyanova N.G., Sergeeva N.A., Van K.V., Pozhilenko V.I.</i> Garnet-Kyanite Veins in Salma Eclogites, Belomorian Eclogite Province	004
<i>Мысленков С.А., Столярова Е.В., Гиппиус Ф.Н.</i> Оценка ресурсов энергии волн в Черном море / <i>Myslenkov S.A., Stolyarova E.V., Gippius F.N.</i> Estimation of Wave Energy Resources of the Black Sea	021
<i>Борзенко С.В., Замана Л.В., Еремин О.В.</i> Термодинамическая оценка формирования паризита и бастнезита в содовых озерах Восточного Забайкалья / <i>Borzenko S.V., Zamana L.V., Eremin O.V.</i> Thermodynamic Assessment of the Parisite and Bastnesite Formation in Soda Lakes of East Transbaikalia	033
<i>Кязимов Ф.К.</i> Новый способ разработки неоднородных пластов с зонами низкой и высокой проницаемости / <i>Kyazimov F.K.</i> New Method for Developing Inhomogeneous Plastes with Low and High Permeability Zones	039
<i>Джамалбеков М.А., Ализаде Н.А., Агазаде О.Д.</i> Алгоритм вычисления показателей процесса разработки залежей летучих нефтей и газоконденсата / <i>Jamalbayov M.A., Alizadeh N.A., Aghazadeh O.D.</i> Algorithm for Calculating the Indices of the Development Process of Deposits of Volatile Oils and Gas-Condensate	047
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ / REMOTE SENSING	
<i>Ле Ханг Трингх, Ту Фонг Буй</i> Использование методов дистанционного зондирования и ГИС-технологий для оценки эрозии почвы в Хуонгском районе, Провинции Кванг Три (Вьетнам) / <i>Le Hung Trinh, Thu Phuong Bui</i> Soil Erosion Assessment Using Gis and Remote Sensing, a Case Study in Huong Hoa District, Quang Tri Province, Vietnam	055
ГЕОДЕЗИЯ / GEODESY	
<i>Цветков В.Я., Ознамец В.В., Дегбенон Овивоссу Пьеретт Аурель</i> Исследование абразии береговой линии Республики Бенин / <i>Tsvetkov V.Ya., Oznamets V.V., Degbenon Ovivosu Pierrett Aurelle</i> Study of Abrasion of the Coastline of Benin	067
ГЕОИНФОРМАТИКА / GEOINFORMATICS	
<i>Ознамец В.В.</i> Развитие «Бизнес геодезии» / <i>Oznamets V.V.</i> Development of "Business Geodesy"	082

ГРАНАТ-КИАНИТ-КВАРЦЕВЫЕ ЖИЛЫ В ЭКЛОГИТАХ САЛМЫ, БЕЛОМОРСКАЯ ЭКЛОГИТОВАЯ ПРОВИНЦИЯ

Докукина К.А.	Конилов А.Н.	Баянова Т.Б.	Ризванова Н.Г.	Сергеева Н.А.	Ван К.В.	Пожиленко В.И.
Геологический институт РАН	Геологический институт РАН Институт экспериментальной минералогии РАН, Черногловка	Институт Геологии КНЦ РАН, Апатиты	Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург		Институт экспериментальной минералогии РАН, Черногловка	Институт Геологии КНЦ РАН, Апатиты
E-mail: dokukina@mail.ru	E-mail: konilov@iem.ac.ru	E-mail: bayanova@geoksc.apatity.ru	E-mail: rizng@mai.ru serg-nade@yandex.ru		E-mail: kvv@iem.ac.ru	E-mail: pozhil@geoksc.apatity.ru

Аннотация. В статье приводится краткая характеристика гранат-кианитовых кислых жил в эклогитах ассоциации Салма, Беломорской эклогитовой провинции. Гранат-кианитовые жилы имеют тоналитовый состав и сопоставимы с вмещающими эклогиты тоналит-трондьемит-гранодиоритовыми (ТТГ) гнейсами, современными адакитами и архейской андезитовой ассоциацией Ведлозерско-Сегозерско зеленокаменной области. Симплектитовые ретроградно измененные эклогиты, содержащие жилы, характеризуются плоскими спектрами распределения РЗЭ N-MORB типа. Спайдер-диаграмма, характеризующая спектры распределения малых элементов, также демонстрирует сходство эклогитов с N-MORB. Вместе с тем, в сравнении со средним N-MORB мафитовые эклогиты характеризуются пониженным уровнем концентраций не только РЗЭ, но и большинства других малых элементов. Изученные гранат-кианитовые жилы в эклогитах ассоциации Салма имеют плагиогранитный состав и типичное для ТТГ распределение малых и редких элементов, что позволяет сопоставлять эти жилы с адакитами - продуктами плавления мафического протолита при PT-параметрах эклогитовой фации при минимальных оценках PT параметров формирования 730°C и P > 14 кбар. Жилы имеют метаморфический минеральный парагенезис, состоящий из граната, кварца, кианита, полевого шпата и содержат пирит и халькопирит. Между гранатом, кианитом и кварцем развиваются реакционные короны плагиоклаза. Гранат содержит включения кианита, кварца и фенгита (3.19—3.34 катионов Si на 11 атомов O), что свидетельствует об неоднократных изменениях давления и температуры в процессе ретроградных и проградных преобразований. В цирконах гранат-кианитовых жил запечатлен широкий диапазон архейских и палеопротерозойских возрастов (~ 2.87, 2.78, 2.68, 2.54, 1.87 млрд лет), отвечающих магматическим и метаморфическим событиям. Минералы гранат-кианит - кварцевых жил были изучены Pb-Pb и Sm-Nd изотопными методами. В результате были построены эрохроны с возрастными 1.7 - 1.8 млрд лет, которые фиксируют последнее метаморфическое событие.

Ключевые слова: Салма, эклогит, N-MORB базальт, адакит, ТТГ гнейсы, изотопное датирование.

ВВЕДЕНИЕ

В пределах Южно-Кольской активной окраины вдоль северо-восточной границы Беломорского аккреционного орогена размещены тела эклогитов, сформированных в результате мезо-неоархейской субдукции океанических и континентальных комплексов (ассоциации Салма и Гридино) (Mints et al., 2010; Konilov et al., 2011; Mints et al., 2014; Dokukina et al., 2017, 2019). Эклогиты Салмы включены в тоналит-трондьемит-гранодиоритовые (ТТГ) гнейсы и

представлены линзами (размер от нескольких метров до несколько десятков метров) или протяженными мафическими телами (сотни метров по мощности и несколько километров по протяженности). Протолитом эклогитов Салмы были океанические габброиды с возрастом 2.89-2.82 млрд лет, сопоставимые по составу с породами третьего слоя срединно-океанического медленно-спредингового Юго-Западного хребта Индийского океана (Mints et al., 2010a; Mints et al., 2014, 2015), образованные переслаивающимися породами основного и ультраосновного состава.

В составе эклогитовых тел ассоциации Салмы встречаются лейкократовые гранат-кианит-кварцевые жилы. Жилы в составе эклогитизированных мафических пород рассматриваются, как продукты плавления мафического протолита при РТ-параметрах эклогитовой фации при минимальных оценках РТ параметров формирования 730°C и $P > 14$ кбар и сопоставляются с адакитами (Mints et al., 2010; Konilov et al., 2011; Mints et al., 2014). В статье представлены результаты комплексных петрологических, геохимических и изотопно-геохимических исследований гранат-кианит-

кварцевых жил из эклогитов ассоциации Салма.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ

Метаморфические комплексы Мезоархейско-Неоархейской Беломорской эклогитовой провинции расположены в пределах Южно-Кольской активной окраины вдоль северо-восточной границы мезоархейско-палеопротерозойского Беломорского аккреционного орогена (рис. 1а).

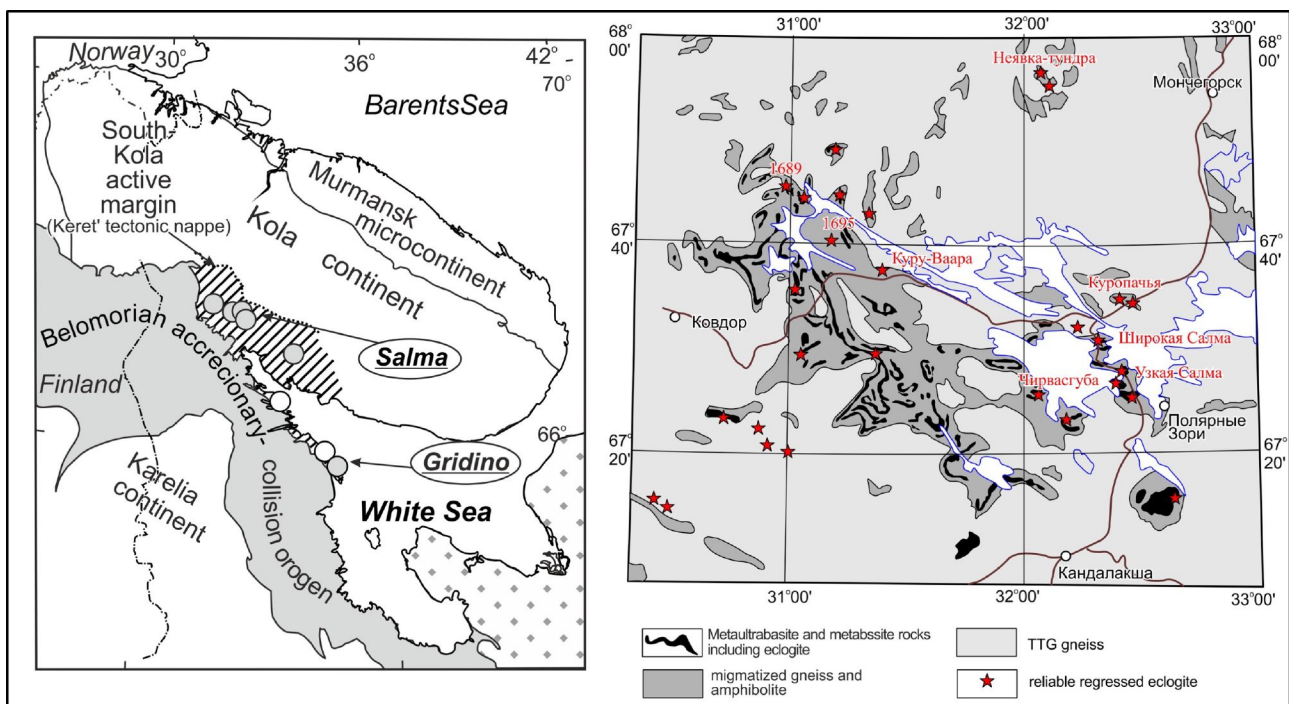


Рис. 1. Слева: Тектоническая позиция эклогитовых ассоциаций Салма и Гридино, образующих архейскую Беломорскую эклогитовую провинцию (БЭП) в восточной части Фенноскандинавского щита, с небольшими изменениями по (Mints et al., 2010a). Справа: Схематическая геологическая карта, где показаны известные эклогитовые тела.

Figure 1. Left: tectonic position of the Salma and Gridino eclogite associations, which form the Archean Belomorian eclogite province in the eastern Fennoscandian Shield, modified after (Mints et al., 2010a); right: Geological sketch map where known eclogite bodies are shown.

Две ассоциации эклогитов в пределах провинции различаются по природе протолитов. Эклогиты ассоциации Салмы формировались по породам океанической коры. В районе Гридино эклогитизации подвергались дайки и фраг-

менты пород основного состава. Дискуссии о возрасте и природе эклогитов Беломорской эклогитовой провинции в настоящий момент актуальны и рассматриваются в многочисленных публикациях, посвященных петрологии, геохимии, геохронологии и геодинамике

данного региона (Volodichev et al., 2004; 2005; 2008; Dokukina et al., 2009; 2010; 2012a, 2012b; 2014; Dokukina, Konilov, 2011, Dokukina et al., 2014; Mints et al., 2010a, 2010b; Mints et al., 2010, 2014; 2015; Perchuk and Morgunova, 2014; Kaulina et al., 2010; Slabunov et al., 2011; Skublov et al., 2010a, 2010b, 2011a, 2011b; Shchipansky et al., 2012a, 2012b; Morgunova and Perchuk, 2012; Perchuk and Morgunova, 2014; Li et al., 2017, Li et al., 2015, Imayama et al., 2018 и др.).

Детальные исследования привели нас к выводу о том, что эклогитовый метаморфизм всех пород Беломорской эклогитовой провинции был не позднее 2.7 млрд лет назад, а вероятнее всего в интервале 2.82-2.74 млрд лет назад (Dokukina et al., 2012; Dokukina et al., 2014; Mints et al., 2014; 2015). В регионе установлено не менее трех наложенных высокотемпературных событий плюмового генезиса с возрастными 2.72-2.70, 2.4-2.5 и 1.9 млрд лет (Mints et al., 2014; 2015).

Нашей первоначальной оценке мезо-неоархейского возраста метаморфизма эклогитовой фации в БЭП (Mints et al., 2010a, 2010b, 2014, 2015; Dokukina et al., 2011, 2014; Konilov et al., 2011) противопоставлена модель, утверждающая поздне-палеопротерозойский возраст этого события (Skublov et al., 2010a, 2010b, 2011a, 2011b; Mel'nik et al., 2013; Li et al., 2017; Imayama et al., 2017; Yu et al., 2018). Критика модели позднепалеопротерозойского возраста эклогитового метаморфизма в БЭП приведена в работе (Dokukina and Mints, 2019).

ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования последних лет показали, что значительная часть тел основного состава в пределах северо-восточного края Беломорского орогена, которые на протяжении многих лет было принято рассматривать в качестве ар-

хейских гранатовых амфиболитов, в действительности являются эклогитами (рис. 1б). Мигматизированные ТТГ гнейсы вмещают линзы, прослои и пачки эклогитов и амфиболитов. Эту ассоциацию, которую ранее было принято относить к керетьской толще Беломорского пояса, мы рассматриваем в качестве комплекса пород Южно-Кольской активной окраины архейского Инари-Кольского микроконтинента и Кольского континента в целом (Mints et al., 2010; 2014; Минц и др., 2010).

Наиболее полно к настоящему времени исследованы несколько крупных эклогитовых тел, которые обнажаются вдоль южного берега проливов Узкая и Широкая Салма озера Имандра и пересекаются федеральной автотрассой Санкт-Петербург – Мурманск (1192-й километр). Эклогиты Узкой Салмы прослежены по простиранию вдоль берега оз. Имандра примерно на 4 км при суммарной мощности 300-500 м. На существующих геологических картах эти эклогиты включены в комплекс неоархейских амфиболитов, в том числе, гранатовых (Pozhilenko et al., 2002 и ссылки там же). Эклогитовая ассоциация вскрыта в северо-восточном борту автотрассы, где в ТТГ гнейсах распределены тела симплектитовых эклогитов, прослои и линзы эклогитов, обогащенных Fe-Ti окислами, магнезиальных метаморфических пород мафит-ультрамафитового состава, маломощные прослои и уплощенные линзы гранатитов, тела гранатовых и безгранатовых амфиболитов, а также жилеобразные и линзовидные тела архейских гранитоидов (рис. 2) и палеопротерозойских пегматитов. Полосчатость гнейсов характеризуется восток-северо-восточным простиранием и крутым северо-северо-западным падением. Границы эклогитов и гранитоидов с вмещающими ТТГ гнейсами – субсогласные.

В карьере строительного камня и в придорожной выемке непосредственно севернее пролива Широкая Салма (1198-

й километр федеральной автотрассы Санкт-Петербург – Мурманск) вскрыты мафитовые симплектитовые эклогиты, слагающие крупное тело. В пределах доступной наблюдению части его мощность превышает 40 и протяженность – 80 метров (рис. 3). Характерна интенсивная амфиболитизация: в юго-восточной части карьера эклогиты полностью преобразованы в массивные безгранатовые амфиболиты. Эклогиты вмещают небольшое тело метаультрабазитов. В пределах обнажения полосчатость и гнейсовидность в породах имеют простирание ВСВ 60-70°, падение в северной стенке карьера – северо-западное, в южной – юго-восточное, что указывает на наличие мелких складок.

Среди эклогитов преобладают симплектитовые разновидности. Визуально в них хорошо видны многочисленные порфиробласты граната (30-40%) в мелкозернистой клинопироксен-плаггиоклазовой симплектитовой матрице светлого серовато-зеленого цвета. Омфациит сохраняется лишь локально в симплектитовых колониях, либо не сохраняется вовсе. В краевой зоне эклогитовых тел, достигающей мощности несколько метров, эклогиты полностью преобразованы в гранатовые или безгранатовые амфиболиты. Во внутренней части тела эклогиты неравномерно амфиболизируются: от тонких кайм амфибола вокруг граната до пород, полностью преобразованных в амфиболиты в виде линейных зон или пятен. Нередко удается наблюдать, как при трансформации эклогита в амфиболит в породе остаются лишь «тени» ранее существовавших порфиробластов граната. Наложённая амфиболитизация сопутствует также и поздне-палеопротерозойским кварцевым и пегматитовым жилам и локальным зонам трещиноватости, пересекающим полосчатость ТТГ гнейсов и внутреннюю структуру эклогитов. Первоначальные полевые наблюдения позволили сделать важные заключения. Во-первых, эклогиты Салмы не моложе, по крайней мере,

свекофенских пегматитов (~1.9 млрд лет) или же являются еще более древними. Во-вторых, по крайней мере, часть из многочисленных мелких тел амфиболитов в ТТГ гнейсах Беломорской эклогитовой провинции может представлять собой полностью амфиболизированные тела эклогитов. Последнее предположение подтвердилось благодаря исследованию коллекции образцов В.И. Пожиленко, собранных им в процессе многолетнего картирования данной территории (рис. 1б).

С симплектитовыми эклогитами чередуются в виде полос и линз массивные железисто-титанистые (Fe-Ti) эклогиты, которые на выветрелой поверхности имеют ржавую окраску. Содержания FeO* в них достигают 18-19%, а TiO₂ – 2.5%. В обнажении Широкая Салма установлены участки Fe-Ti эклогитов с включениями графита.

С телами эклогитов, которые по химизму преимущественно соответствуют толеитовым базальтам или габбро, часто ассоциируют высокомагнезиальные породы базит-ультрабазитового состава. Геохимические данные позволяют различать среди пород этой группы метаморфиты как коматиитового (MgO > 18%, TiO₂ < 1%, сумма щелочей < 1%), так и пикритового (MgO – 12-18%) состава (Le Bas, 2000).

Также в составе рассматриваемой ассоциации представлены гранатиты – породы, состоящие из граната (максимально – до 90%), плаггиоклаза, пироксенов и кварца с заметным количеством рутила. Гранатиты образуют линзовидные тела или протяженные «прослой», реже – секущие полосы мощностью от нескольких сантиметров до одного метра и более.

В обнажениях зафиксированы жильные тела кислого состава, в составе которых присутствует гранат и кианит. Поскольку жилы нигде не выходят за пределы эклогитовых тел, их можно считать «замороженными жилами», эксгуги-

мированными вместе с эклогитами. В ассоциации эклогитов Салма присутствуют кислые гранат- и кианит жильные обособления двух типов:

(1) переплавленные в высокотемпературных условиях высокотемпературные боросиликат-, гранат-, кианит-, корунд- и фенгит-содержащие кварц-полевошпатовые породы (мощностью первые сантиметры – первые десятки сантиметров), локализованные внутри тел ретроградно измененных эклогитов были изучены в карьере Куру-Ваара (Dokukina et al., 2017). Гранат-фенгит-кианит-кварцевые породы имеют жильную форму, характеризуются прямолинейными или плавно искривленными контактами и иногда формируют сеть, разделяющую породу на отдельные округлые или угловатые блоки размерами первые десятки сантиметров. Данные породы имеют высокие содержания кремнезема и глинозема, характеризуются калиевой спецификой. Мы предположили, что эти

породы могут быть (Dokukina et al., 2017): (1) гидротермальными жилами, которые формировались при дегидратации и/или плавления боросодержащих пород при погружении их в зону субдукции; (2) могут являться продуктами метаморфизма или плавления осадочных пород;

(2) Жилы гранитного состава с натровой спецификой и типичным для ТТГ гнейсов распределением малых и редких элементов, приуроченные к телам симплектитовых эклогитов, что позволило сопоставлять эти жилы с плагиогранитами или адакитами - продуктами плавления мафического протолита при РТ-параметрах эклогитовой фации при минимальных оценках РТ параметров формирования 730°C и P > 14 кбар (Минц и др., 2010; Konilov et al., 2011; Mints et al., 2010). Знаменитое жильное тело «адакитов» в симплектитовых эклогитах всесторонне исследовано на местоположении Узкая Салма (рис. 2а, б).

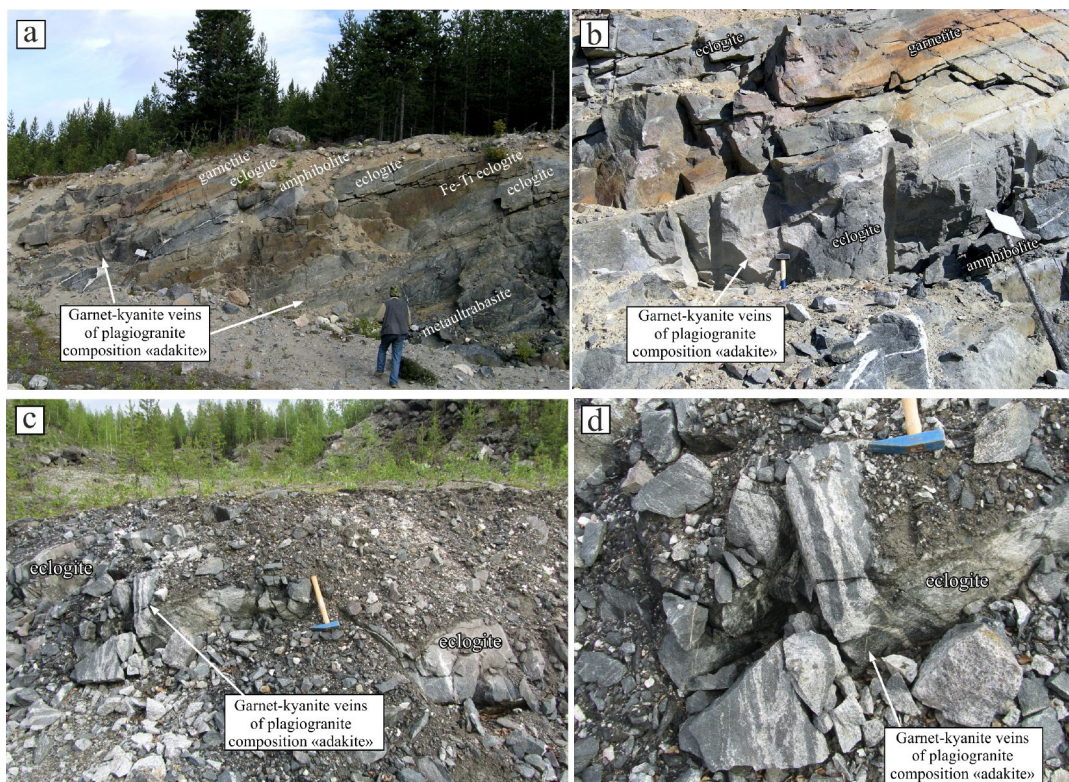


Рис. 2. Фотографии обнажений: (а-б) гранат кианитовые жилы, местонахождение Узкая Салма; (с-д) Гранат-кианитовые жилы, местонахождение Широкая Салма.

Figure 2. Photos of outcrops: (a-b) Garnet-kyanite veins in the Uzkaaya Salma location; (c-d) Garnet-kyanite veins in the Shirokaya Salma location.

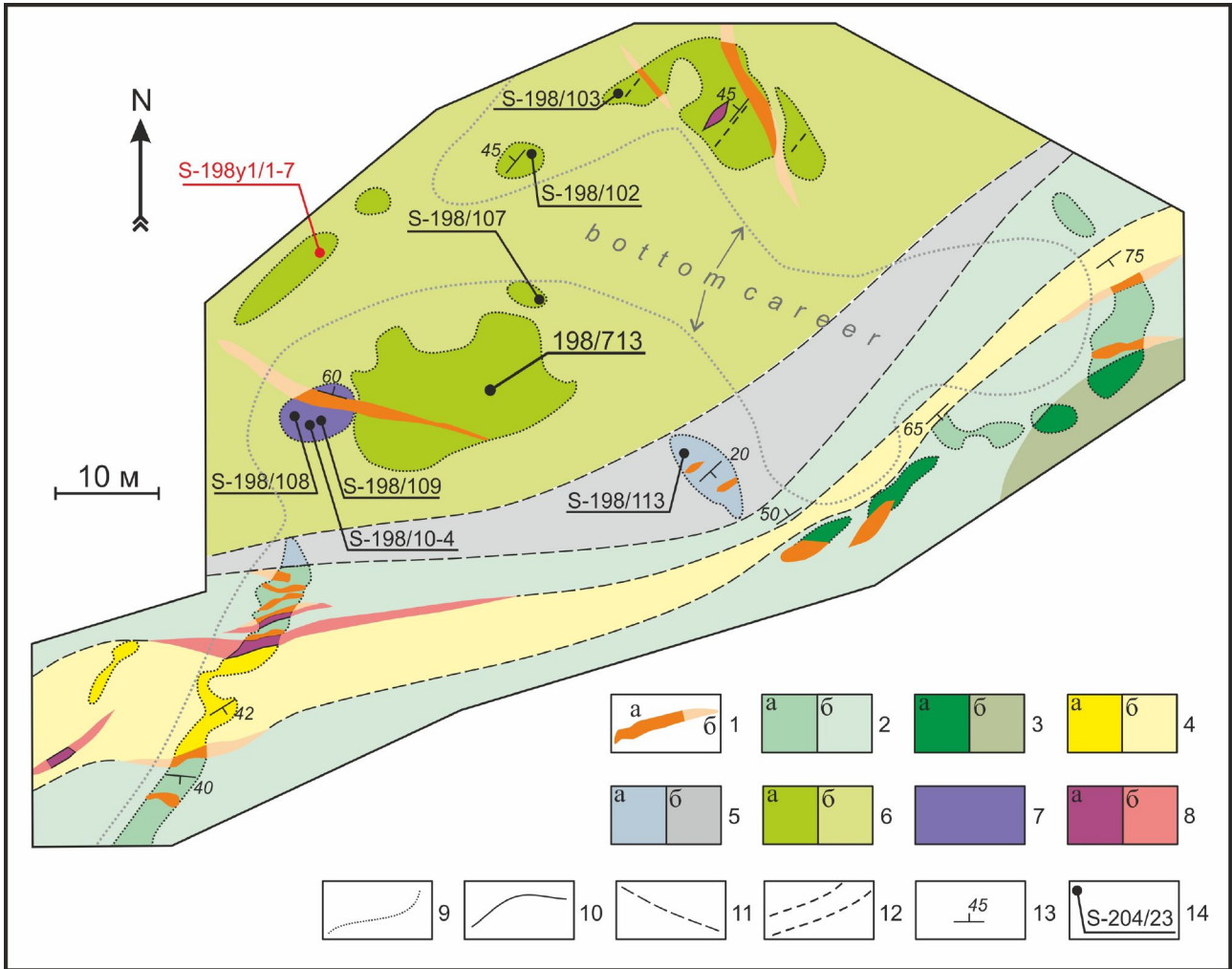


Рисунок 3. Геологическое строение эклогитовой ассоциации Салмы (Широкая Салма): карьер в северо-восточном борту шоссе С.-Петербург-Мурманск, 1198-й километр (по Н.Е.Козловой и О.Н.Платоновой с незначительными упрощениями). В обозначениях 1-8 показаны породы в обнажениях (а) и их приблизительное положение, намеченное по осыпям и развалам (б). 1-3 – палеопротерозой: 1 – пегматиты, 2-3 – амфиболиты по эклогитам: гнейсовидные (2) и массивные (3), 4-8 – архей: 4 – гранат-амфиболовые гнейсы, 5 – мигматизированные ТТГ гнейсы, 6-7 – эклогиты: мафитовые, в том числе – обогащенные окислами Fe и Ti (6), высокомагнезиальные (пиклогиты) (7), 8 – гранатиты; 9-13 – геологические границы и структурные элементы: 9 – постепенные переходы, 10 – резкие границы, 11 – границы предполагаемые, 12 – простираение полосчатости/гнейсовидности, 13 – элементы залегания полосчатости и гнейсовидности; 13 – места отбора образцов и проб для петрологических, геохимических и геохронологических исследований.

Figure 3. Geological sketch map of the Salma eclogite association (Shirokaya Salma): the quarry in the NE side of thy road S.-Petersburg – Murmansk, 1198 km (after N.E. Kozlova and O.N. Platonova). 1-8 rock outcrops (a) and assumed rocks in talus. 1-3 – Palaeproterozoic rocks: 1 – pegmatite, 2-3 amphibolite after eclogite: gneiss-like (2), massive (3); 4-8 – Archaean rocks: garnet-amphibole gneiss (4), migmatized TTG gneiss (5), 6-7 – eclogites including Fe-Ti eclogite (6), metaultramafic rocks (7), 8 – garnetite; 9-12 – geological margins: gradual transition (9), sharp boundary (10), assumed boundary (11); 12 – foliation; 13 – petrologic, geochemical and geochronological samples.

Цель работы – изучение гранат-кианит-кварцевых жил из эклогитов ассоциации Салма. Хорошо известная «адакитовая» жила, расположенная в дорожной расчистке на трассе Санкт-Петербург – Мурманск была многократно отобрана и изучена петрологическими, геохимическими и изотопными методами) разными группами российских и иностранных ученых. В составе этой дорожной расчистки находятся еще несколько гранат-кианитовых кислых жил, о которых мало известно (рис. 2а). Основным объектом данного исследования – это вскрытое дорожными работами вдоль кромки трассы Санкт-Петербург – Мурманск в 2011 г., а затем утраченное (благодаря тем же дорожным работам) обнажение эклогитов, содержащих жилы гранат-кианит-кварцевых пород и гранат-кварцевые линзы (рис. 2с, d, 3). Здесь были обнажены несколько параллельных жил небольшой мощности содержащих хорошо сохранившийся парагенезис граната, кианита, и кварца (рис. 2d). Также в составе обнажения присутствовали эклогиты и гранат-биотитовые гнейсы.

ПЕТРОГРАФИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

Тоналит-тронджемит-гранодиоритовые гнейсы. Представлены гранатовыми и безгранатовыми разновидностями. Преобладающая минеральная ассоциация в гнейсах – это биотит, амфибол, плагиоклаз, кварц.

Симплектитовые эклогиты. Симплектитовые регрессивно измененные эклогиты представлены пойкилитовыми порфиробластами граната в симплектитах клинопироксена и плагиоклаза, сформированных по омфациту (рис. 4а), содержание жадеита в реликтах которого достигает 28.4 мол.% при повышенном содержании Al_2O_3 7.8 вес.%. Симплектитовые эклогиты содержат небольшое количество кварца. Гранат содержит включения низкотемпера-

турных и низкобарных минералов (пумпеллит, актинолит, альбит) и окружен келифитовой амфибол-плагиоклазовой каймой. В эклогитах повсеместно присутствует кварц.

Гранат-кианитовые кислые жилы приурочены к симплектитовым эклогитам. Жилы имеют метаморфический минеральный парагенезис, состоящий из граната, кварца, кианита, полевого шпата и содержат пирит и халькопирит (рис. 4b). Между гранатом, кианитом и кварцем развиваются реакционные короны плагиоклаза. Гранат содержит включения кианита, кварца и фенгита (3.19—3.34 катионов Si на 11 атомов O) и его состав свидетельствует об неоднократных изменениях давления и температуры в процессе ретроградных и проградных преобразований. Так, например, гранат на рис. 4с сохраняет проградную зональность – наблюдается повышение магнезиальности граната от центра к краю. В тех же образцах встречаются гранаты с ретроградной зональностью: магнезиальное ядро сменяется железистыми каймами (рис. 4d). Включения фенгита приурочены к магнезиальным областям граната. Также породы содержат свидетельства преобразований в условиях низких фаций метаморфизма, выраженные в замещении граната амфиболом, плагиоклазом и хлоритом.

ГЕОХИМИЯ

Эклогиты имеют габбровый состав (рис. 5) и характеризуются плоскими спектрами распределения РЗЭ N-MORB типа. Спайдер-диаграмма, характеризующая спектры распределения малых элементов, также демонстрирует сходство эклогитов с N-MORB (рис. 6). Вместе с тем, в сравнении со средним N-MORB мафитовые эклогиты характеризуются пониженным уровнем концентраций не только РЗЭ, но и большинства других малых элементов. Исключение составляет заметное обогащение крупно-ионными

литофилами – элементами наиболее подвижными в процессах метаморфизма и частичного плавления. Обращает на себя внимание хорошо выраженная положительная аномалия ниобия, относящегося к числу некогерентных элементов, которые считаются инертными в процессах подобного рода.

В сравнении с более широко распространенными симплектитовыми эклогитами, тренды РЗЭ в Fe-Ti эклогитах демонстрируют сильную деплетацию в легкой части спектра и, наоборот, заметное обогащение в тяжелой. На спайдер-диаграмме распределения малых элементов (рис. 6) хорошо видно, что Fe-Ti эклогиты заметно обогащены некогерентными высоkozарядными элементами – Nb, Zr, Hf и Ti и, напротив, обеднены когерентными элементами – Rb, Ba, Sr и легкими РЗЭ. Как и мафитовые эклогиты и пиклогиты, Fe-Ti эклогиты обогащены Nb.

ТТГ гнейсы (рис. 5) принадлежат к натриевому ряду ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} \geq 1.5$) магматических пород и варьируют по составу от кварцевых диоритов до высокоглиноземистых ($\text{Al}_2\text{O}_3 > 15\%$) трондьемитов (рис. 7). По индексу насыщенности глиноземом ($\text{A/CNK} = \text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, в мольных количествах), как правило, превышающему 1, они являются пералюминиевыми.

Гранат-кианит-кварцевые жилы имеют гранитный тоналитовый состав (рис. 5, 7) и характеризуются существенными вариациями по всем главным элементам (SiO_2 65.7-72.2, Al_2O_3 15.2-19.1, TiO_2 0.03-0.5, Fe_2O_3 2.28-5.04, MgO 1.84-3.98, CaO 3.36-6.03, Na_2O 1.15-3.09, K_2O 0.06-0.66, LOI 0.33-0.85 масс.%); характеризуется обогащением ЛРЗЭ ($\text{La}_N/\text{Lu}_N = 15.5-24.7$, $\text{Lu}_N/\text{Sm}_N = 0.2$), положительной европиевой аномалией ($\text{Eu}/\text{Eu}^* 1.1-1.5$) (рис. 5, 6).

ГЕОХРОНОЛОГИЯ

В жиле адакитов (местоположение Узкая Салма) методами LA-ICPMS и

SHRIMP-II были датированы цирконы (Минц и др., 2010; Konilov et al., 2011; Mints et al., 2010) (рис. 8). Оба метода дали совпадающие оценки древней составляющей популяции. Однако датировать оболочки удалось только с помощью SHRIMP-II. Набор точек, полученный LA-ICP-MS позволил получить две даты: 2866 ± 10 млн лет и 2781 ± 15 млн лет. Эти результаты были фактически повторены SHRIMP-II: 2866 ± 36 млн лет и 2778 ± 23 млн лет. Для одного из зёрен циркона был получен более молодой конкордантный возраст ~ 2.28 млрд лет, который можно интерпретировать как возраст палеопротерозойского термального события, приведшего к переуравновешиванию U-Pb изотопной системы. Группа призматических тонкоzonальных кристаллов, датированная 2.78 млрд лет, более гомогенна и может рассматриваться в качестве магматической, непосредственно связанной с парциальным плавлением. Датирование цирконов с помощью SHRIMP-II отчетливо фиксирует также и поздне-палеопротерозойское событие, запечатленное в обрастании зерен циркона тонкой каймой – вплоть до появления полностью перекристаллизованных зерен. В результате датирования оболочек и новообразованных кристаллов без ядер методом LA-ICP-MS был получен) конкордантный возраст ~ 1.87 млрд лет (Kaulina et al., 2010) (рис. 8). Кроме того, (по двум точкам получен субконкордантный возраст 2328 ± 36 млн лет, что в пределах аналитической ошибки совпадает с возрастом 2280 ± 50 млн лет, полученным по одному зерну методом LA-ICP-MS.

Lu-Hf датирование цирконов с возрастaми около 2.87 и около 2.78 млрд лет обнаруживают схожие Hf-изотопные характеристики. Они попадают в узкий интервал значений $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0.28101-0.28106$ и располагаются на диаграмме между линиями эволюции CHUR и деплетированной мантии (DM). Значения ϵHf варьируют в пределах от +1 до +6.

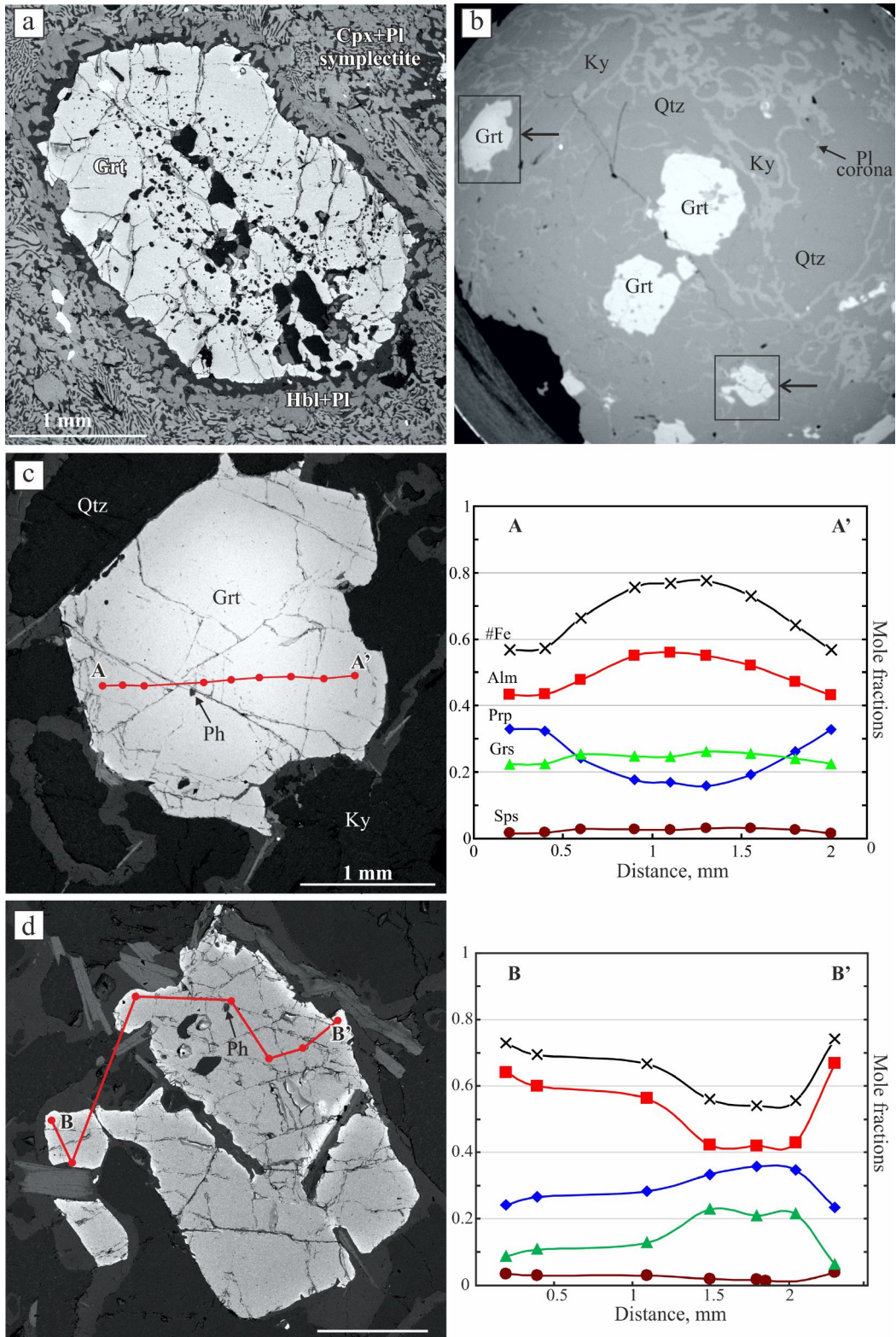


Рис. 4. Изображения в отраженных электронах (BSE) основных и кислых пород местонахождения Широкая Салма: (а) симплектитовый эклогит; (б) гранобластовый гранат-кианит-кварцевый парагенезис кислых гранат-кианитовых жил. Обратите внимание на корону плагиоклаза, сформированную между гранатом, кианитом и кварцем; рамки показывают детали изображения граната и их композиционные профили через гранаты, показанные в (с) и (d). Аббревиатура минералов по Whitney & Evans (2010).

Figure 4. Back-scattered electron (BSE) images of mafic and felsic rocks from Shirokaya Salma location: (a) symplectitic eclogite; (b) Granoblastic garnet–kyanite–quartz aggregate of felsic garnet-kyanite veins. Note, plagioclase corona formed between garnet, kyanite and quartz; insets show detail of Garnet and their compositional profiles across garnets shown in (c) and (d). Mineral abbreviations are after Whitney & Evans (2010).

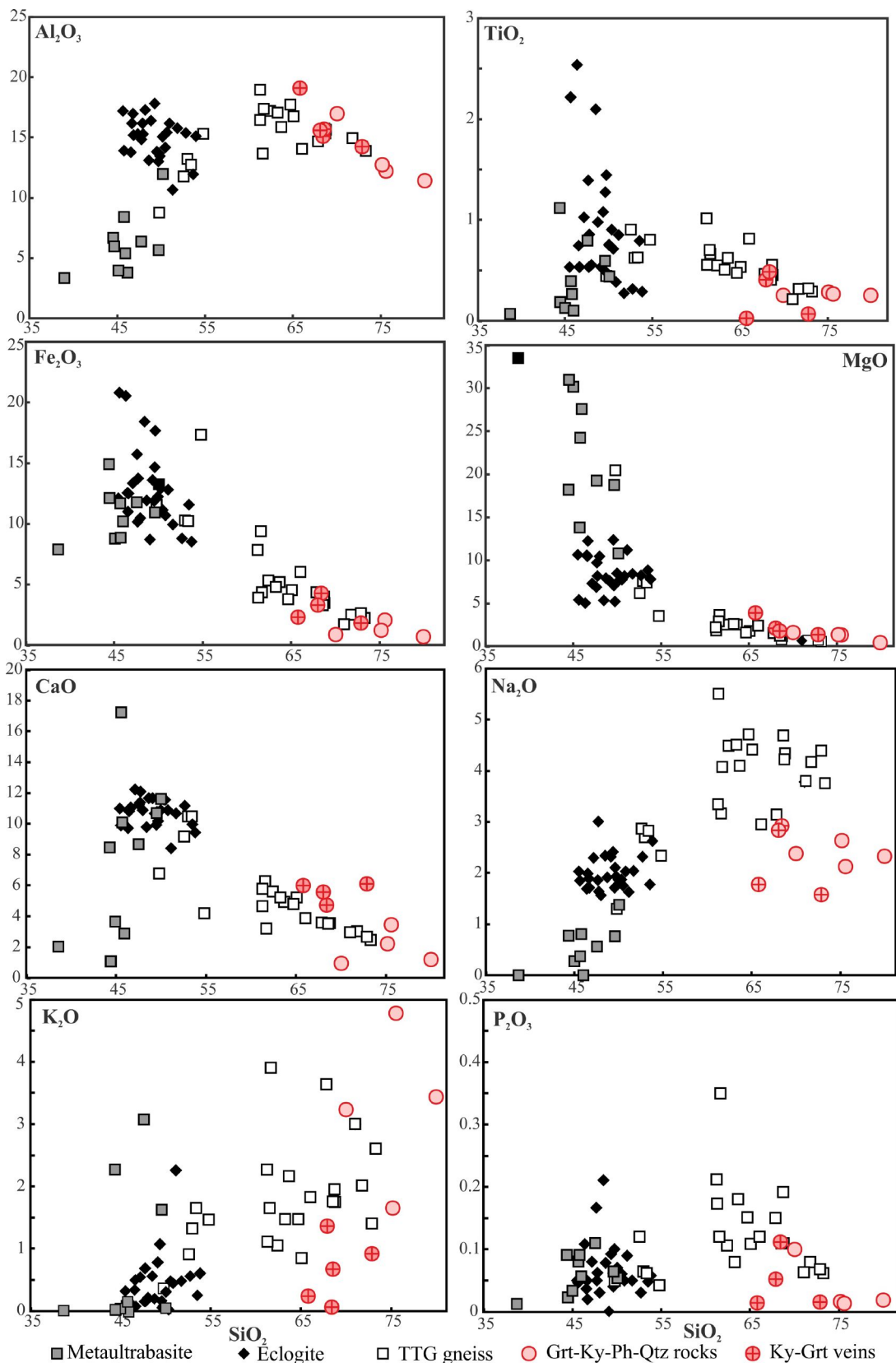


Рис. 5. Составы гранат-кианитовых жил, гранат-фенгит-кварцевых пород, гнейсов, эклогитов и ультрабазитов эклогитовой ассоциации Салма с использованием данных (Shchipansky et al. 2012b; Mints et al., 2010; Dokukina et al., 2017)

Figure 5. Compositions of garnet-kyanite rock veins, garnet-phengite-quartz rocks, gneisses, eclogites and ultrabasites of the Salma eclogite association with using data from (Shchipansky et al. 2012b; Mints et al., 2010; Dokukina et al., 2017).

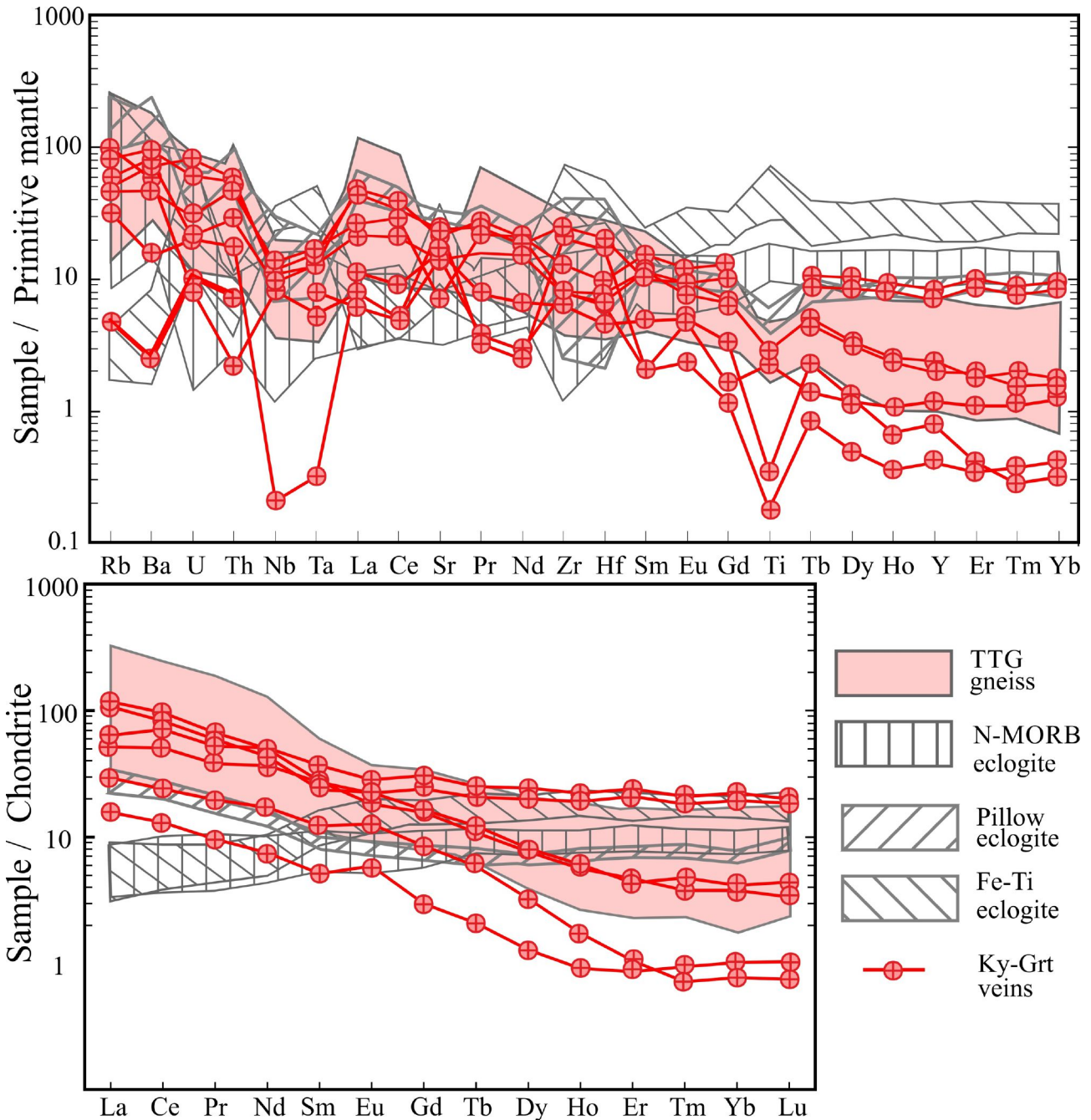


Рис. 6. Спайдер диаграммы, нормированные к примитивной мантии по (Hofmann, 1988) и распределения РЗЭ, нормированные к хондриту по (Sun and McDonough, 1989) для пород эклогитовой ассоциации Салма с использованием данных из (Shchipansky et al. 2012b; Mints et al., 2010; Dokukina et al., 2017)

Figure 6. Primitive mantle-normalized (Hofmann, 1988) trace element spider diagrams and chondrite-normalized (Sun and McDonough, 1989) REE patterns for rocks of the Salma eclogite association with using data from (Shchipansky et al. 2012b; Mints et al., 2010; Dokukina et al., 2017)

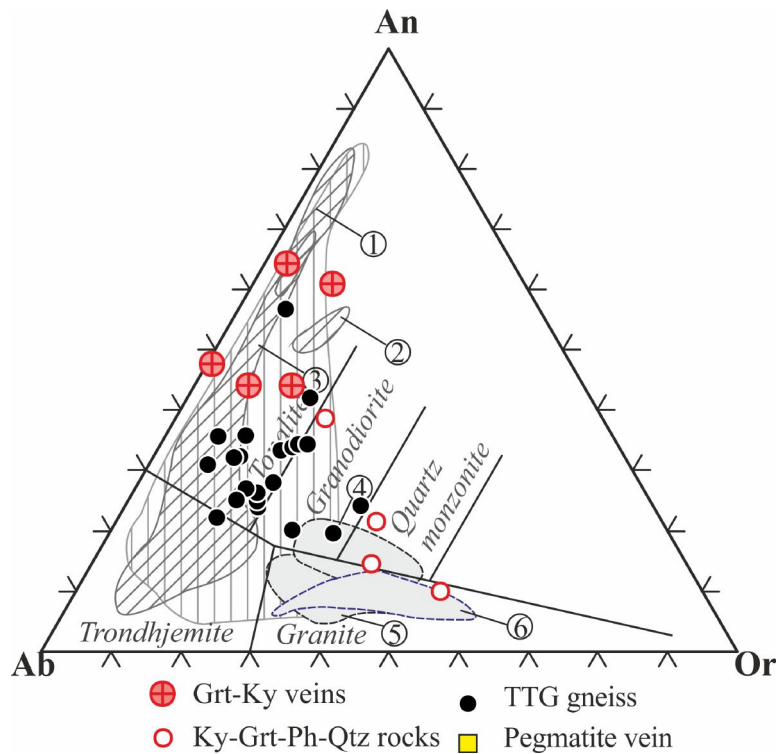


Рис. 7. Нормативные составы кислых пород из ассоциации эклогитов Салма на классификационной диаграмме Ab–An–Or. Показаны поля экспериментальных стекол, полученных в результате плавления амфиболитов (косая штриховка), цоизитовых эклогитов (вертикальная штриховка) по Skjerlie & Patiño Douce (2002), и плавления ТТГ гнейсов (серое поле). Номерами в кружках показаны результаты экспериментов по плавлению: (1) Wolf & Wyllie (1994); (2) Rushmer (1991); (3) Winther (1996); (4) Watkins et al. (2007), sample SC4; (5) Watkins et al. (2007), sample SC5; and (6) Patiño Douce (2005).

Figure 7. Normative feldspar compositions of felsic rocks from the Salma association plotted in Ab–An–Or classification diagram. Fields of experimental glasses produced by partial melting of amphibolites (slanted hatching), zoisite eclogite (vertical hatching) after Skjerlie & Patiño Douce (2002), and TTG gneisses (gray) are shown. Numerals in circles are results of melting experiments: (1) Wolf & Wyllie (1994); (2) Rushmer (1991); (3) Winther (1996); (4) Watkins et al. (2007), sample SC4; (5) Watkins et al. (2007), sample SC5; and (6) Patiño Douce (2005).

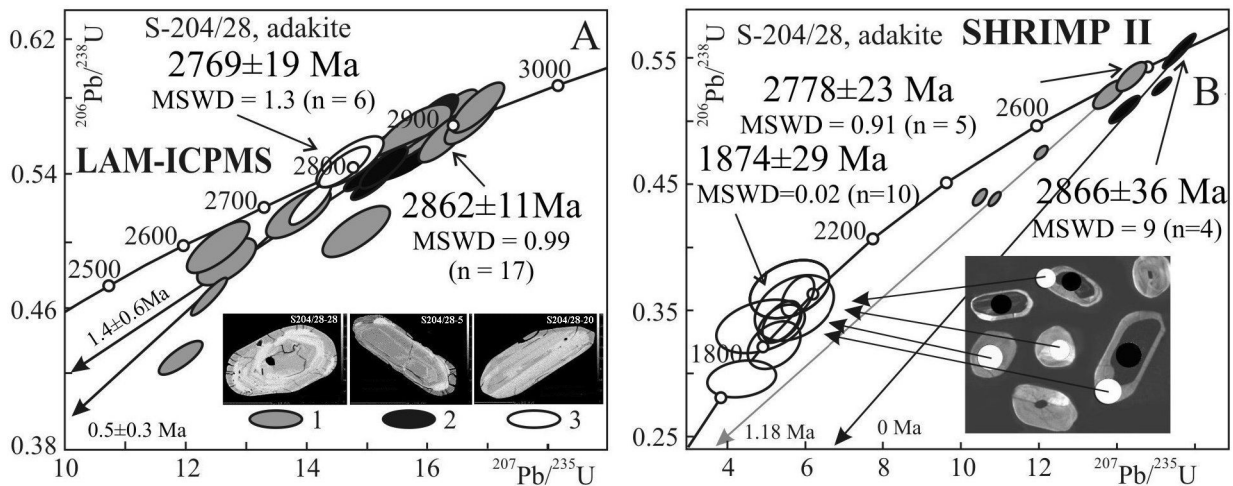


Рис. 8. Катодолуминисцентные изображения датированных зерен циркона из Grt-Ky жилы и U-Pb диаграммы с конкордией, местонахождение Узкая Салма (из Konilov et al., 2011).

Figure 8. Cathodoluminescence images of dated zircon grains from Grt-Ky vein and U-Pb zircon concordia diagrams obtained by LA-ICPMS (a) and SHRIMP II (b) methods, Uzкая Salma location (after Konilov et al., 2011).

Модельные возраста T_{DM} заключены в относительно узком интервале 2.82-2.97 млрд лет – на 40-100 миллионов лет древнее возраста кристаллизации цирконов (Mints et al., 2010). Такие параметры модельных оценок указывают на неювенильную природу цирконов и вмещающей их адакитовой жилы, сформированных за счет коровых пород.

Новые данные были получены по результатам U-Pb датирования циркона, граната и кианита из гранат-кианит-кварцевой жилы, обнаруженной в эклогитах Широкой Салмы.

Все выделенные цирконы имеют изометрическую округлую или короткопризматическую форму (рис. 9) и представлены прозрачными розовыми и коричневатыми зернами, имеющими алмазный блеск. Цирконы характеризуются секториальным строением, с участками, где проявляется fir-tree структуры. В целом цирконы своим обликом похожи на цирконы метаморфического генезиса. При их датировании методом ID-TIMS Single grain были получены дискордантные значения возраста на рубежах 2.7 и 2.5 млрд лет (рис. 9). Эрохроны, построенные по результатам Pb-Pb датирования кианита и граната дали возраст-

ной интервал 1.7-1.8 млрд лет. Sm-Nd модельный возраст породы составил $T_{DM} = 2752$ при $\epsilon Nd = -2.8$ (рис. 10). Эрохроны, построенные по минералам и породе, дали возрасты в интервале 1.7-1.8 млрд лет.

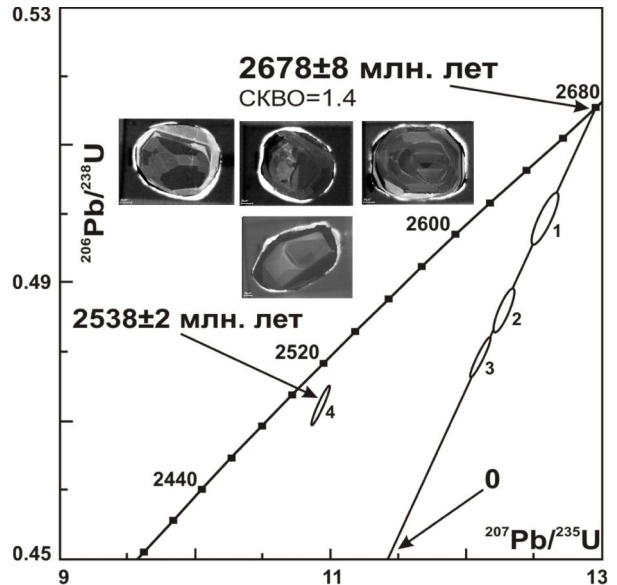


Рис. 9. Катодолуминесцентные изображения зерен циркона из Grt-Ky жилы и U-Pb диаграмма с конкордией по результатам ID-TIMS датирования, проба S198y1/2, местонахождение Широкая Салма.

Figure 9. Cathodoluminescence images of zircon grains from Grt-Ky vein and U-Pb zircon concordia diagram obtained by ID-TIMS method, Shirokaya Salma location.

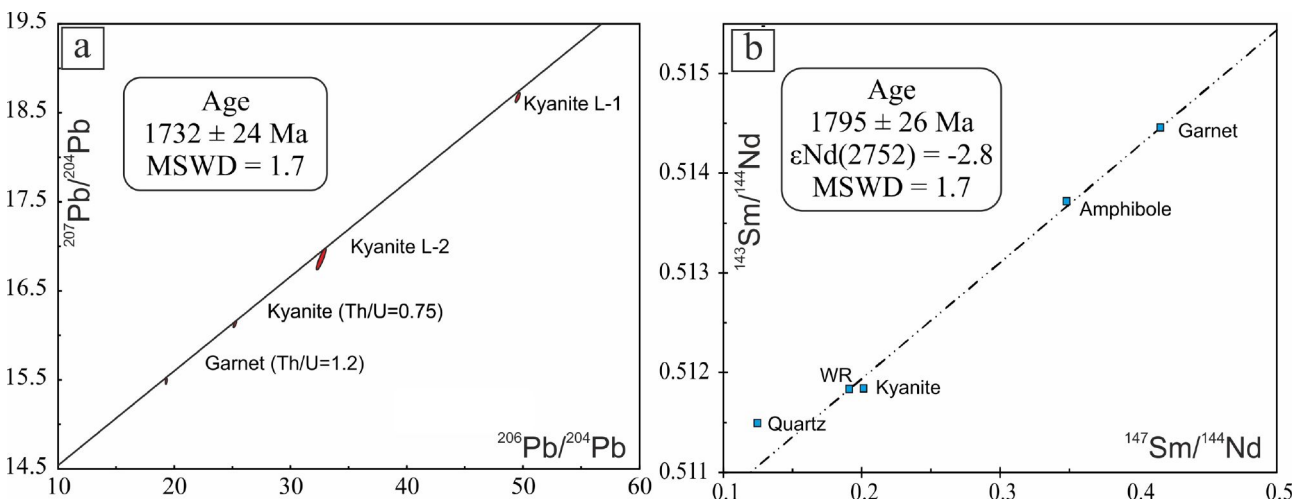


Рис. 10. График в координатах $Pb^{207}/Pb^{204} - Pb^{206}/Pb^{204}$ для граната и кианита, где L-1, L-2 – кислотные выщелочки кианита (a) и Sm/Nd (b) минеральные изохроны для Grt-Ky жил, местонахождение Широкая Салма.

Figure 10. $Pb^{207}/Pb^{204} - Pb^{206}/Pb^{204}$ diagram for garnet and kyanite, where L-1 and L-2 are kyanite's acid leachates (a) and Sm/Nd (b) mineral isochrones for Grt-Ky veins, Shirokaya Salma location.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Минеральный парагенезис фенгита, кварца, кианита и граната формируется при давлениях выше, чем 20 кбар (Massonne & Szpurka, 1997). Мономинеральный геобарометр, предложенный (Caddick & Thompson, 2008) дает условия кристаллизации фенгита в условиях эклогитовой фации при минимальных давлениях 19-20 кбар при температуре 650 °С. Между гранатом, кианитом и кварцем развиваются реакционные короны плагиоклаза, описываемые реакцией $Grs+2Ky+Qtz=3An$. Эта переходная реакция от гранулитовой или амфиболитовой к эклогитовой фации описывает разложение анортитового компонента плагиоклаза с формированием гроссулярового компонента в эклогитовом гранате вместе с кианитом и кварцем. В данном случае представлена ретроградная реакция - короны формируются при снижении давления от эклогитовой фации. Поздние минеральные ассоциации указывают на ретроградные преобразования пород в амфиболитовой и более низкотемпературных условиях.

Содержания главных и редких элементов в ТТГ гнейсах и в гранат-кианитовых жилах в целом характерны для современных адакитов: $SiO_2 > 56\%$, $Al_2O_3 > 15\%$, $Mg\# = 0.45-0.53$, $Sr/Y > 40$, $La_N/Yb_N > 20$ (Drummond et al., 1996) (рис. 11), как уже было отмечено ранее (Mints et al., 2010; Konilov et al., 2011). Также эти породы по составу сопоставимы с мезоархейскими адакитами и андезитами Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса (Svetov et al., рис. 11).

В цирконах из гранат-кианитовых жил, которые могут собой представлять замороженные адакитовые выплавки, запечатлены пять термальных события, три – архейские (первые два 2.87 и 2.78 млрд лет могут быть расценены как магматические, связанные с частичным плавлением при метаморфизме; событие с возрастом 2.68 связано с гранулитовым метаморфизмом) и два – палеопротерозойские (2.5 и 1.9 млрд лет, которые фиксируют метаморфическую перекристаллизацию).

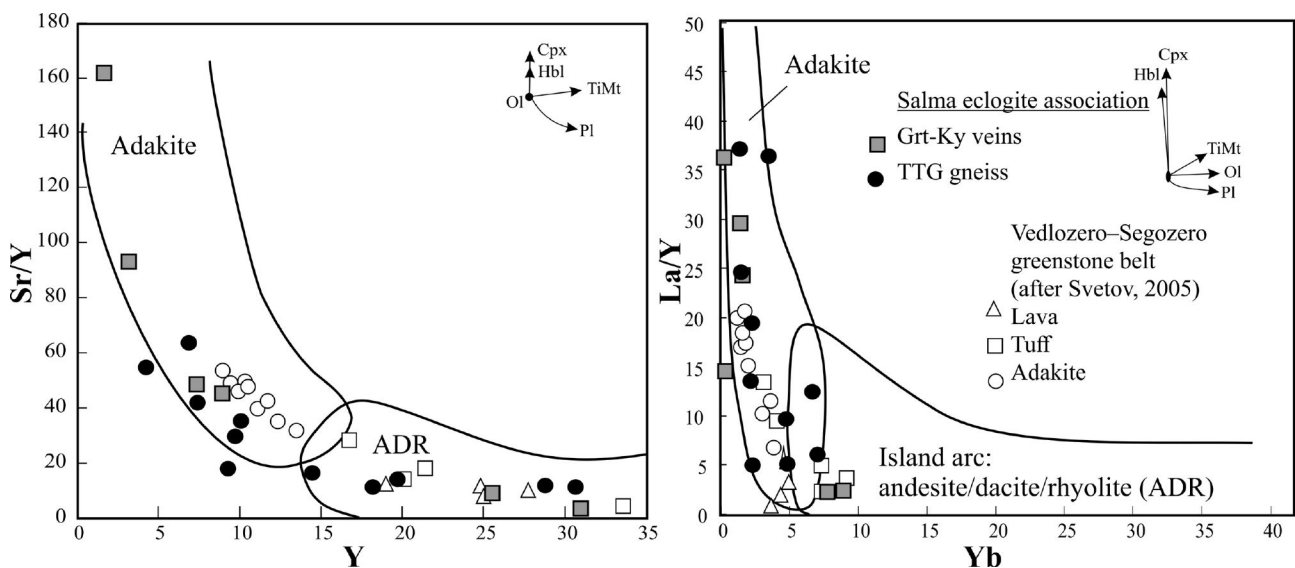


Рис. 11. Диаграмма Sr/Y vs Y (a) и $(La/Yb)_n$ vs Yb_n (b) для Grt-Ky жил и ТТГ гнейсов эклогитовой ассоциации Салма. Для сравнения приведены составы архейской андезитовой ассоциации Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса (after Svetov, 2005)

Figure 11. Diagrams Sr/Y vs Y (a) and $(La/Yb)_n$ vs Yb_n (b) for Grt-Ky veins and ТТГ gneiss of the Salma eclogite association. For comparison the compositions of Archaean andesite association of the Vedlozero-Segozero greenstone belt are given (after Svetov, 2005).

Литература

1. Caddick, M.J., Thompson, A.B., 2008. Quantifying the tectono-metamorphic evolution of pelitic rocks from a wide range of tectonic settings: mineral compositions in equilibrium. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 156, 177–195.
2. Dokukina, K.A., Konilov, A.N., 2011. Metamorphic evolution of the Gridino mafic dyke swarm (Belomorian eclogite province, Russia). In: Dobrzhinetskaya, L., Cuthbert, S., Faryad, W., Wallis, S. (Eds.), *Ultrahigh-Pressure Metamorphism: 25 Years after the Discovery of Coesite and Diamond*. Elsevier, pp. 591–634 (Chapter 18).
3. Dokukina, K.A., Kaulina, T.V., Konilov, A.N., 2009. Dating of key events in the Precambrian Polystage Complexes: an example from Archean Belomorian Eclogite Province, Russia. *Doklady Earth Sciences* 425 (2), 296–301. <http://dx.doi.org/10.1134/S1028334X09020275>.
4. Dokukina, K.A., Bayanova, T.B., Travin, A.V., Kaulina, T.V., Konilov, A.N., 2010. New geochronological data on metamorphic and igneous rocks from the Gridino Village Area (Belomorian Eclogitic Province). *Doklady Earth Sciences* 432 (1), 671–676. <http://dx.doi.org/10.1134/S1028334X10050260>.
5. Dokukina, K.A., Bayanova, T.B., Kaulina, T.V., Travin, A.V., Mints, M.V., Konilov, A.N., Serov, P.A., 2012a. Belomorian eclogite province: succession of events and age forming of igneous and metamorphic rocks of Gridino association. *Russian Geology and Geophysics* 53 (10), 1023–1054. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rgg.2012.08.006>.
6. Dokukina, K.A., Konilov, A.N., Van, K.V., Mints, M.V., Simakin, S.G., 2012b. Origin of Early Paleoproterozoic Zircons in Rocks of the Archean Eclogite Association of Gridino (Belomorian Eclogite Province). *Doklady Earth Sciences* 445 (1), 832–839. <http://dx.doi.org/10.1134/S1028334X1207001X>.
7. Dokukina, K.A., Mints, M.V., Konilov, A.N., 2017. Melting of eclogite facies sedimentary rocks in the Belomorian Eclogite Province, Russia. *J. Metamorph. Geol.* 35, 435–451. <https://doi.org/10.1111/jmg.12239>.
8. Dokukina K., Mints M., 2019. Subduction of the Mesoarchaeon spreading ridge and related metamorphism, magmatism and deformation by the example of the Gridino eclogitized mafic dyke swarm, the Belomorian Eclogite Province, eastern Fennoscandian Shield. *Journal of Geodynamics* 123, 1–37
9. Dokukina, K.A., Kaulina, T.V., Konilov, A.N. et al., 2014. Archean to Palaeoproterozoic high-grade evolution of the Belomorian Eclogite Province in Fennoscandian Shield (Gridino area): geochronological evidences. *Gondwana Research*, 25, 585–613.
10. Dokukina, K.A. & Konilov, A.N., 2011. Metamorphic evolution of the Gridino mafic dyke swarm (Belomorian Eclogite Province, Russia). In: *Ultrahigh-Pressure Metamorphism. 5 Years after the Discovery of Coesite and Diamond* (eds Dobrzhinetskaya, L.F., Faryad, S.W. & Wallis, S.), pp. 579–621. Elsevier, Amsterdam.
11. Drummond M.S., Defant M.J., Kepezhinskas P.K., 1996. Petrogenesis of slab derived tonalite-dacite adakite magmas // *Trans. Roy. Soc. Edinburgh*. 58. 205–215.
12. Hofmann, A.W., 1988. Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust and oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters* 90, 297–314.
13. Imayama, T., Oh, C.W., Batybaev, S.K., Park, C.S., Yi, K., Jung, H., 2017. Paleoproterozoic high-pressure metamorphic history of the Salma Eclogite on the Kola Peninsula. Russia. *Lithosphere* 9 (6), 855–873.
14. Kaulina, T.V., Yapaskurt, V.O., Presnyakov, S.L., Savchenko, E.E., Simakin, S.G., 2010. Metamorphic evolution of the archean eclogite-like rocks of the Shirokaya and Uzkaya Salma Area (Kola Peninsula): geochemical features of zircon, composition of inclusions, and age. *Geochem. Int.* 48 (9), 871–890. <https://doi.org/10.1134/S001670291009003X>.
15. Konilov, A.N., Shchipansky, A.A., Mints, M.V., Kaulina, T.V., Dokukina, K.A., Bayanova, T.B., Napatov, L.M., Belousova, E.A., Griffin, W.L., O'Reilly, S.Y., 2011. The Salma eclogites from the Belomorian Province, Russia: evidence for HP/UHP metamorphism through the subduction of the Mesoarchean oceanic crust. In: Dobrzhinetskaya, L., Cuthbert, S., Faryad, W., Wallis, S. (Eds.), *Ultrahigh-Pressure Metamorphism: 25 Years After the Discovery of Coesite and Diamond*. Elsevier, pp. 623–670 Chapter 19.
16. Le Bas M.J., 2000. IUGS reclassification of the high-Mg and picritic volcanic rocks // *J. Petrology* 41, 1467–1470.
17. Li, X., Zhang, L., Wei, C., Slabunov, A.I., 2015. Metamorphic PT path and zircon U-Pb dating of Archean eclogite association in Gridino complex, Belomorian province, Russia. *Precambrian Res.* 268, 74–96.
18. Li, X.L., Zhang, L.F., Wei, C.J., Slabunov, A.I., Bader, T., 2017. Neoproterozoic granulite-facies metamorphism in Uzkaya Salma eclogite-bearing mélangé, Belomorian

- Province (Russia). *Precambrian Res.* 294, 257–283.
19. Mel'nik, A.E., Skublov, S.G., Marin, Yu.B., Berezin, A.V., Bogomolov, E.S., 2013. New data on the age (U–Pb, Sm–Nd) of garnetites from Salma eclogites of the Belomorian Mobile Belt. *Dokl. Earth Sci.* 448 (Part 1), 78–85.
 20. Mints, M.V., Belousova, E.A., Konilov, A.N. et al., 2010a. Mesoarchean subduction processes: 2.87 Ga eclogites from the Kola Peninsula Russia. *Geology*, 38, 739–742.
 21. Mints, M.V., Dokukina, K.A. & Konilov, A.N., 2014. The Meso-Neoarchean Belomorian eclogite province: tectonic position and geodynamic evolution. *Gondwana Research*, 25, 561–584.
 22. Mints, M.V., Dokukina, K.A. & Konilov, A.N. et al., 2015. Mesoarchean Kola-Karelia continent. In: *East European Craton: Early Precambrian History and 3D models of deep crustal structure* (eds Condie, K. & Harvey, F. E.), Geological Society of America, Special Paper, 510, 15–88, Boulder, CO.
 23. Mints, M.V., Suleimanov, A.K., Babayants, P.S., Belousova, E.A., Blokh, Yu.I., Bogina, M.M., Bush, W.A., Dokukina, K.A., Zamozhniaya, N.G., Zlobin, V.L., Kaulina, T.V., Konilov, A.N., Mikhailov, V.O., Natapov, L.M., Piip, V.B., Stupak, V.M., Tihotsky, S.A., Trusov, A.A., Philippova, I.B., Shur, D.Yu., 2010b. Deep structure, evolution and mineral deposits of the Early Precambrian basement of the East European platform: an interpretation of the data from 1-EU geotraverse, the 4B and Tatseis profiles, vol. 1. GEOKART, GEOS, Moscow (408 pp. (in Russian)).
 24. Massonne, H.-J. & Szpurka, Z., 1997. Thermodynamic properties of white micas on the basis of high-pressure experiments in the systems K₂O-MgO-Al₂O₃-H₂O and K₂O-FeO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O. *Lithos*, 41, 229–250.
 25. Morgunova, A.A., Perchuk, A.L., 2012. Petrology of Precambrian metaultramafites of the Gridino high-pressure complex (Karelia). *Russ. Geol. Geophys.* 53 (2), 131–146. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2011.12.011>.
 26. Patiño Douce, A. E., 2005. Vapor-absent melting of tonalite at 15 - 32 kbar. *Journal of Petrology* 46, 275–290.
 27. Perchuk, A.L., Morgunova, A.A., 2014. Variable P-T paths and HP-UHP metamorphism in a Precambrian terrane, Gridino, Russia: petrological evidence and geodynamic implication. *Gondwana Res.* 25, 614–629.
 28. Pozhilenko, V.I., Gavrilenko, B.V., Zhirov, D.V., and Zhabin, S.V., 2002, *Geology of Ore Districts in Murmansk Region: Apatity*, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences, 359 p. [in Russian].
 29. Shchipansky, A.A., Khodorevskaya, L.I., Konilov, A.N., Slabunov, A.I., 2012a. Eclogites from the Belomorian Mobile Belt (Kola Peninsula): geology and petrology. *Russ. Geol. Geophys.* 53, 1–21.
 30. Shchipansky, A.A., Khodorevskaya, L.I., Slabunov, A.I., 2012b. The geochemistry and isotopic age of eclogites from the Belomorian Belt (Kola Peninsula): evidence for subducted Archean oceanic crust. *Russ. Geol. Geophys.* 53, 262–280.
 31. Skjerlie, K. P. & Patiño-Douce, A. E., 1995. Anatectic interlayered amphibolite and pelite at 10 kbar: effect of diffusion of major components on phase-relations and melt fraction. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 122, 62–78.
 32. Skublov, S.G., Balashov, Yu.A., Marin, Yu.B., Berezin, A.V., Mel'nik, A.E., Paderin, I.P., 2010a. U–Pb age and geochemistry of zircons from Salma eclogites (Kuru-Vaara deposit, Belomorian Belt). *Dokl. Earth Sci.* 432 (2), 791–798.
 33. Skublov, S.G., Berezin, A.V., Marin, Yu.B., Rizvanova, N.G., Bogomolov, E.S., Sergeeva, N.A., Vasil'eva, I.M., Guseva, V.F., 2010b. Complex isotopic-geochemical (Sm–Nd, U–Pb) study of Salma eclogites. *Dokl. Earth Sci.* 434 (2), 1396–1400.
 34. Skublov, S.G., Astaf'ev, B.Yu., Marin, Yu.B., Berezin, A.V., Mel'nik, A.E., Presnyakov, S.L., 2011a. New data on the age of eclogites from the Belomorian mobile belt at Gridino settlement area. *Dokl. Earth Sci.* 439 (2), 1163–1170. <https://doi.org/10.1134/S1028334X11080290>.
 35. Skublov, S.G., Berezin, A.V., Mel'nik, A.E., 2011b. Paleoproterozoic eclogites in the Salma area, Northwestern Belomorian mobile belt: composition and isotopic geochronologic characteristics of minerals and metamorphic age. *Petrology* 19 (5), 470–495. <https://doi.org/10.1134/S0869591111050055>.
 36. Slabunov, A.I., Volodichev, O.I., Skublov, S.G., Berezin, A.V., 2011. Main stages of the formation of Paleoproterozoic eclogitized gabbro-norite: evidence from U–Pb (SHRIMP) dating of zircons and study of their genesis. *Dokl. Earth Sci.* 437 (1), 396–400. <https://doi.org/10.1134/S1028334X11030202>.
 37. Svetov, S.A., 2005. Archean Magmatic Systems of Ocean–Continent Transition Zone in the Eastern Fennoscandian Shield. Russian Academy of Sciences, Karelia Science Center, Petrozavodsk, 230 pp (in Russian).
 38. Sun, S.S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basins: Geological Society, London, Special Publications*, 42, pp. 313–345.

39. Volodichev, O.I., Slabunov, A.I., Bibikova, E.V., Konilov, A.N., Kuzenko, T.I., 2004. Archean eclogites in the Belomorian mobile belt, Baltic Shield. *Petrology* 12 (6), 540–560.
40. Volodichev, O.I., Slabunov, A.I., Stepanov, V.S., Sibelev, O.S., Travin, V.V., Stepanova, A.V., Babarina, I.I., 2005. Archean and Paleoproterozoic eclogites and Paleoproterozoic drusites of Gridino Village (White Sea region). In: Shchiptsov, V.V.(Ed.), *The Belomorian Mobile Belt and Its Analogs: Geology, Geochronology, Geodynamics, and Minerageny (Guidebook and Proc. of Conf.)*. IG KarNTs RAN, Petrozavodsk, pp. 60–74 (in Russian).
41. Volodichev, O.I., Parfenova, O.V., Kuzenko, T.I., 2008. Paleoproterozoic eclogites of the Belomorian mobile belt (on eclogitization of gabbro in a lherzolite-gabbro-norite dyke). In: Golubev, A.I., Slabunov, A.I. (Eds.), *Geology and Useful Minerals of Karelia, Issue 11*. Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk, pp. 37–61 (in Russian).
42. Watkins, J., Clemens, J. & Treloar, P., 2007. Archean TTGs as sources of younger granitic magmas: melting of sodic metatonalites at 0.6–1.2 GPa. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 154, 91–110.
43. Winther, K. T., 1996. An experimentally based model for the origin of tonalitic and trondhjemitic melts. *Chemical Geology* 127, 43–59.
44. Whitney, D.L. & Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95, 185–187.
45. Wolf, M. B. & Wyllie, P. J., 1994. Dehydration-melting of amphibolite at 10 kbar: the effects of temperature and time. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 115, 369–383.
46. Yu, H.L., Zhang, L.F., Wei, C.J., Li, X.L., Guo, J.H., 2017. Age and P–T Conditions of the Gridino-type eclogite in the Belomorian Province, Russia. *J. Metamorph. Geol.* 35, 855–869.



GARNET-KYANITE VEINS IN SALMA ECLOGITES, BELOMORIAN ECLOGITE PROVINCE

<i>Dokukina K.A.</i>	<i>Konilov A.N.</i>	<i>Bayanova T.B.</i>	<i>Risyanova N.G.</i>	<i>Sergeeva N.A.</i>	<i>Van K.V.</i>	<i>Pozhilenko V.I.</i>
Geological institute of The Russian Academy of Sciences	Geological institute of The Russian Academy of Sciences Institute of Experimental Mineralogy, RAS	Institute of Geology of the Kola Science Center, RAS, Apatity	Institute of Precambrian Geology and Geochronology, RAS		Institute of Experimental Mineralogy, RAS	Institute of Geology of the Kola Science Center, RAS, Apatity
E-mail: dokukina@mail.ru	E-mail: konilov@iem.ac.ru	E-mail: bayanova@geoksc.apatity.ru	E-mail: rizng@mai.ru serg-nade@yandex.ru		E-mail: kvv@iem.ac.ru	E-mail: pozhil@geoksc.apatity.ru

Abstract. The article provides a brief description of garnet-kyanite felsic veins in eclogites of the Salma Association, Belomorian Eclogite Province. Garnet-kyanite veins have a tonalite composition and are comparable with the eclogite-bearing tonalite-trondhjemitic-granodiorite (TTG) gneisses, modern adakites and Archean andesite association of the Vedlozero–Segozero greenstone belt. Symplectitic strongly retrograde eclogites containing veins are characterized by flat trend of REE of N-MORB type. Spider-diagram also shows trend like N-MORB type. However, at comparison spider-diagram of the Salma eclogites with typical N-MORB basalt composition, the Salma eclogites are characterized by decreased value level of REE not only REE, but also others trace elements. Studied garnet-kyanite veins from the Salma eclogites have plagiogranite compositions and trace elements distributions that are typical for TTG and we could compare with adakite – product of melting of mafic protholite at PT-conditions of eclogite-facies (minimal 730°C and P > 14 kbar). The veins have metamorphic mineral assemblage of garnet, quartz, kyanite, feldspar, pyrite and chalcopyrite. Reaction coronas of plagioclase form between garnet, kyanite and quartz. Garnet contains kyanite, phengite (up to 3.19–3.34 Si cations per 11 O atoms) and quartz inclusions. Zonal garnet compositions are evidenced repeated changes of pressure and temperature during retrograde and prograde transformations. Zircons from garnet-kyanite veins gave a wide range of Archean and Paleoproterozoic ages (~ 2.87, 2.78, 2.68, 2.54, 1.87 Ga), corresponding to magmatic and metamorphic events. Minerals of garnet-kyanite-quartz veins were studied by Pb-Pb and Sm-Nd methods. Erochrones were constructed with ages of 1.7–1.8 Ga which date the last metamorphic event.

Key words: Salma, eclogite, N-MORB basalt, adakite, TTG gneiss, isotopic dating.

© Коллектив авторов, 2018

ОЦЕНКА РЕСУРСОВ ЭНЕРГИИ ВОЛН В ЧЕРНОМ МОРЕ

Мысленков С.А.

Столярова Е.В.

Гиппиус Ф.Н.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Географический факультет

Адрес: 119991, Москва, ул. Ленинские горы, д. 1

E-mail: stassas@yandex.ruE-mail: leno4ekstolyarova@gmail.comE-mail: fedor.gippius@gmail.com

Аннотация. На основе данных ретроспективных расчетов параметров волнения проведена оценка ресурсов энергии волн в Черном море. Расчеты параметров волнения выполнены с помощью модели SWAN и данных реанализа NCEP/CFSR с 1979 по 2016 год. Расчеты проводились на неструктурной сетке, имеющей высокое пространственное разрешение у берега (200–500 м). Были получены карты распределения среднемноголетнего потока энергии за период 1979–2016. Рассчитаны среднемесячные обеспеченности волновой энергией для нескольких пороговых критериев. Среднемноголетнее распределение потока волновой энергии в Черном море меняется от 3–4 кВт/м в западной части моря до 1.5–3 кВт/м в восточной. Произведен анализ сезонной и межгодовой изменчивости потока волновой энергии в Черном море. В мае и июне наблюдаются минимальные значения потока волновой энергии. Среднегодовая обеспеченность энергией более 1 кВт/м за весь период составляет 50% для западной части моря. Наибольшая обеспеченность более 1 кВт/м наблюдается в декабре и январе и составляет 70% для западной части моря.

Ключевые слова. волновая энергия, оценка энергетического потенциала, ветровые волны, моделирование волнения, обеспеченность волновой энергией.

Введение

В настоящее время достаточно много работ посвящено исследованию нетрадиционных источников энергии [3, 6, 8]. В том числе внимание уделяется изучению энергии волн морей и океанов [3, 4]. Плотность энергии морских волн, как правило, выше, чем плотность ветровой и солнечной энергии [8], поэтому исследование ресурсов энергии волн является актуальной задачей. Однако, распределение волновой энергии весьма нерегулярно в пространстве и во времени, поэтому необходимы подробные региональные оценки ее потенциала.

Черное море обладает весьма скромным потенциалом волновой энергии по сравнению с другими морями России. Согласно работе [8], средний поток волновой энергии в Черном море составляет 2–3 кВт/м. С другой стороны, плотность населения, проживающего в прибрежной зоне Российского сектора Черного моря одна из самых высоких в России.

Некоторые данные о волновой энергии в Черном море приводятся в работах [5, 12, 13, 14, 18]. В данных работах приводятся в основном среднемноголетние и сезонные данные о волновой энергии в общем для Черного моря.

В данной работе выполнен подробный анализ межгодовой и сезонной изменчивости потенциала волновой энергии в Черном море на основе продолжительного реанализа волнения за период 1979–2016 гг. Также приведены карты распределения обеспеченности волновой энергией.

Данные и методы

Для расчета потенциала волновой энергии использовались данные реанализа волнения Черного моря, выполненного с помощью спектральной волновой модели SWAN [15] для периода 1979–2016 гг. [16]. При моделировании волнения использовались данные о ветре из реанализа NCEP/CFSR (1979–2010 гг.) с пространственным разрешением $\sim 0,3^\circ$ [19] и реанализ NCEP/CFSv2 (2011–2016 гг.) с разрешением $\sim 0,2^\circ$ [20]. Шаг по

времени в этих реанализах составляет 1 час. Вычисления проводились на неструктурной триангуляционной сетке, где для открытой части Черного моря шаг по пространству составлял 12 км, а

для прибрежной зоны до 200 м (рис. 1.). Более подробное описание конфигурации волновой модели и оценки ее качества изложены в работах [9, 11, 16, 17].

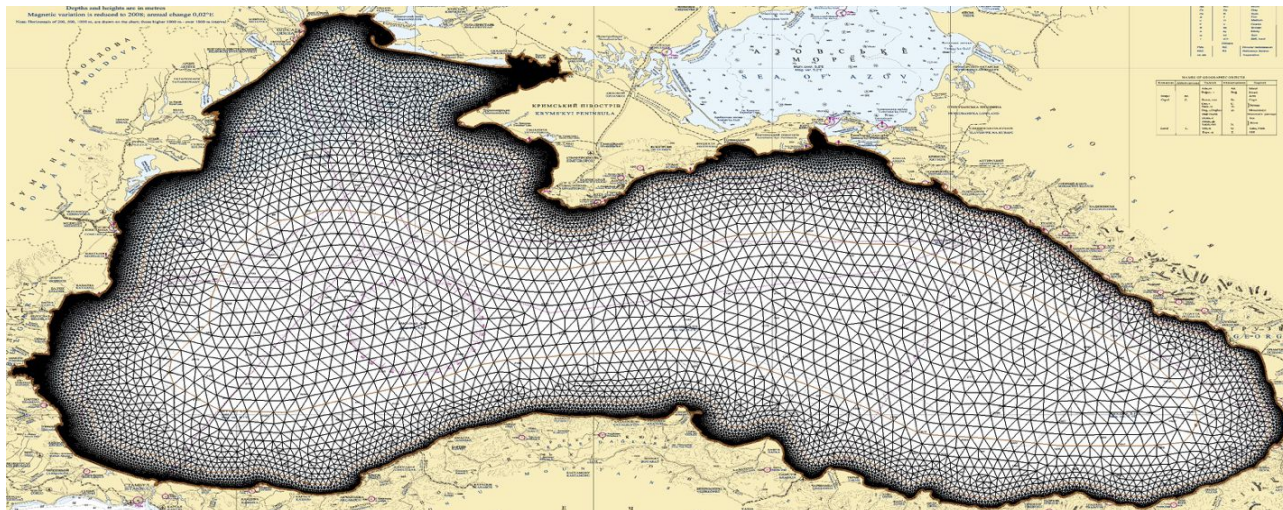


Рис. 1. Расчетная неструктурная сетка для Черного моря.
Fig. 1. Unstructured computation grid for the Black Sea.

Из реанализа волнения были получены данные о потоке (переносе) волновой энергии на метр волнового фронта (кВт/м) для каждого узла расчетной сетки с шагом по времени 3 часа. Далее были рассчитаны среднеголетние значения высоты значительных волн, средней по спектру длины, среднего по спектру периода волн и потока волновой энергии за весь период. Для трех выбранных точек рассчитаны средние значения потока волновой энергии для каждого года и для каждого месяца с 1979 по 2016 год. Также рассчитывались среднеголетние значения потока волновой энергии для каждого месяца. Эти данные позволяют оценить сезонную и межгодовую изменчивость потока волновой энергии. Однако, для проектирования волновых электростанций также очень важно иметь данные о стабильности потока волновой энергии во времени. Для этих целей была рассчитана обеспеченность волновой энергией для следующих критериев: 0,5, 1, 2 кВт/м волнового фронта. Обеспеченность представляет

собой отношение количества значений ряда, когда поток волновой энергии превышал заданный критерий к общему количеству значений всего ряда [1, 10]. Так, обеспеченность волновой энергией для критерия «более 1 кВт/м» рассчитывается по следующей формуле:

$$O_{1\text{кВт}} = \frac{m}{n} \times 100 \quad (1)$$

где m – количество случаев из выборки, когда поток волновой энергии был более 1 кВт/м волнового фронта, n – общее количество случаев выборки.

Обеспеченность волновой энергии меняется по пространству и рассчитывается для каждого узла расчетной сетки. Расчеты проводились отдельно для всей выборки, а также для отдельных месяцев за весь период (1979–2016 гг.).

Результаты

По данным моделирования были построены карты распределения среднеголетних значений высоты значи-

тельных волн, длины, периода волн и потока волновой энергии за весь период (рис.2). Среднегодовое значение высоты значительных волн меняется от 0.5 до 1.0 м, максимальные значения наблюдаются в западной части моря. В прибрежной зоне Российского сектора максимальные значения (0.7 м) наблюдаются у Южного берега Крыма и в районе м. Утриш (рис.2). Средняя длина волн меняется от 10 до 22 м, максимальные значения наблюдаются в центральной и южной части моря. Средний период меняется от 2.7 с в северо-западной части моря до 4 с в центральной и южной частях моря.

Распределение среднегодовых значений потока волновой энергии в Черном море приведено на рис. 3. В западной части моря наблюдаются значения 3–4 кВт/м, в восточной части приблизительно в два раза меньше. В прибрежной зоне Российского сектора максимальные значения (около 2 кВт/м) наблюдаются у Южного берега Крыма, в районе м. Утриш и м. Идокопас (рис. 3).

Поток волновой энергии сильно меняется во времени, поэтому необходимо подробно рассмотреть его межгодовую и сезонную изменчивость. На рис. 4. приведены среднегодовые значения потока волновой энергии для трех точек, расположенных в западной, центральной и восточной частях Черного моря (расположение точек отмечено на рис. 3). Среднегодовой поток волновой энергии для выбранных точек меняется от 1.5 до 5 кВт/м. В целом, межгодовая изменчивость потока энергии достигает 0.7–1.2 кВт/м между соседними годами, а стандартное отклонение составляет около 0.5 кВт/м для всех трех точек. В западной части поток волновой энергии практически всегда выше чем в центральной и восточной. В межгодовой изменчивости можно выделить период с 1989 по 1991 гг., когда наблюдались низкие значения во всех трех точках. В 1993 году во точке 2 наблюдается абсолютный максимум 5 кВт/м, а для точки 1 –

локальный максимум 4.5 кВт/м. Максимум потока волновой энергии в 1993 также выделяется и в Баренцевом море [10].

В общем, тренда на повышение штормовой активности и увеличения средних значений волновой энергии не наблюдается. В статье [5], напротив утверждается об усилении штормовой активности в период с 1990 по 2014 год. Данное расхождение вызвано использованием различных входных данных о скорости ветра. В работе [5] по данным о приземном давлении реанализа Era-Interim 0.25, определялся градиентный ветер и далее путем «коррекции» рассчитывались горизонтальные компоненты стандартного ветра на высоте 10 м. Данный подход применялся в работе [7] и позволял существенно улучшить данные реанализа низкого разрешения NCEP/NCAR. В настоящее время, данный подход устарел, так как в современных реанализах данные метеорологических наблюдений усваиваются в трехмерные метеорологические модели, где при помощи параметризаций, учитывающих различные состояния атмосферы и подстилающей поверхности, рассчитывается приземный ветер. В работе [21] было наглядно показано, что для Черного моря наиболее точным по полю приземного ветра является реанализ NCEP/CFSR, а попытка коррекции данных реанализа ухудшает результаты воспроизведения волнения. В работе [13] тенденций на увеличение штормовой активности также не выявлено.

Известно, что в зимний период штормовая активность в Черном море выше, чем в летний [2, 7]. Рассмотрим сезонную изменчивость среднегодовых значений потока волновой энергии в трех точках (рис. 5). Максимальные среднегодовые значения потока волновой энергии наблюдается в период с декабря по февраль и в точке 1 составляют около 6.5 кВт/м.

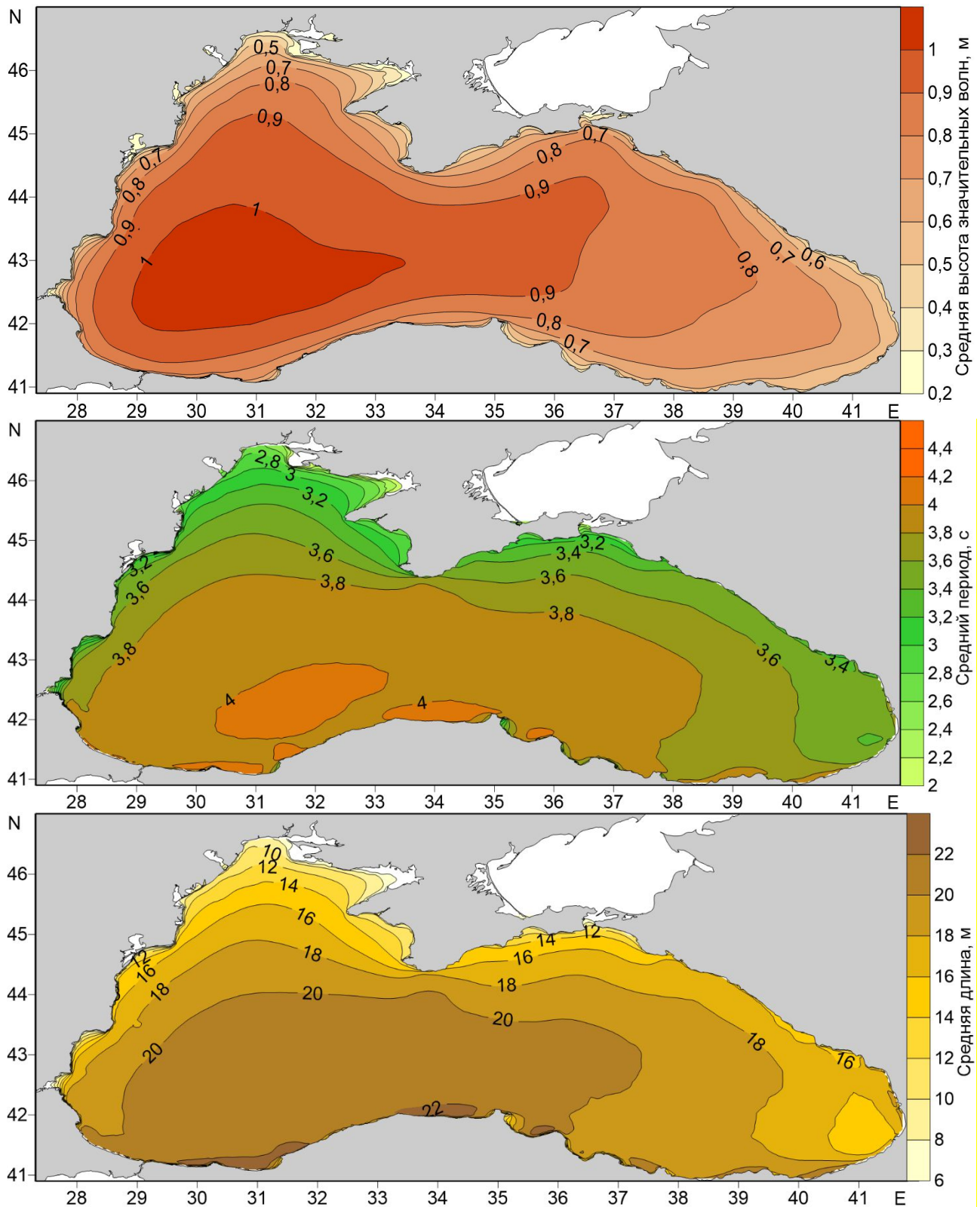


Рис. 2. Среднемноголетние (за период 1979-2016) значения высоты значительных волн (а), среднего периода (б), средней длины волн(в) в Черном море.

Fig. 2. Average long-term (for the period 1979-2016) values of significant wave height (a), average period (b), average wavelength (c) in the Black Sea.

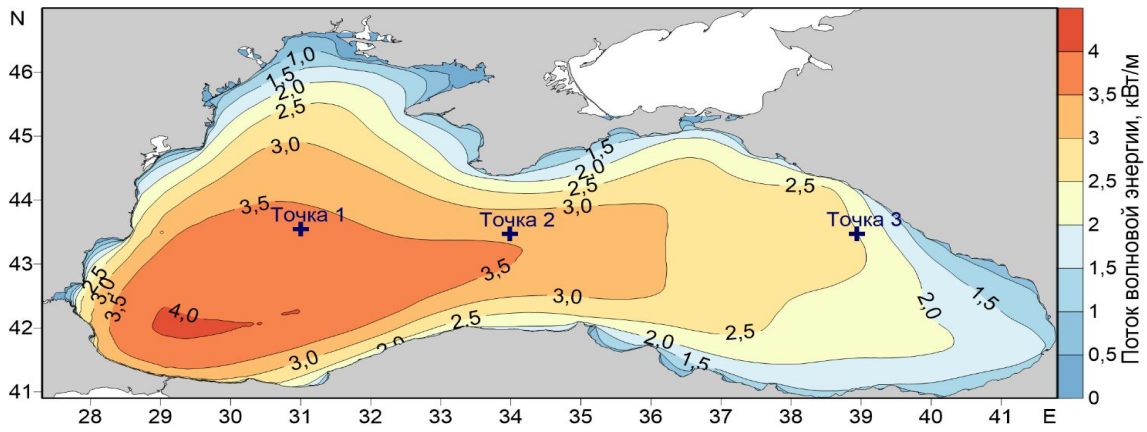


Рис. 3. Среднемноголетний (за период 1979-2016) поток волновой энергии кВт/м в Черном море. Крестиками обозначено расположение точек для анализа межгодовой и сезонной изменчивости.
 Fig. 3. The average multiannual (for the period 1979-2016) wave energy flow of kW / m in the Black Sea. The crosses indicate the location of points for the analysis of interannual and seasonal variability.

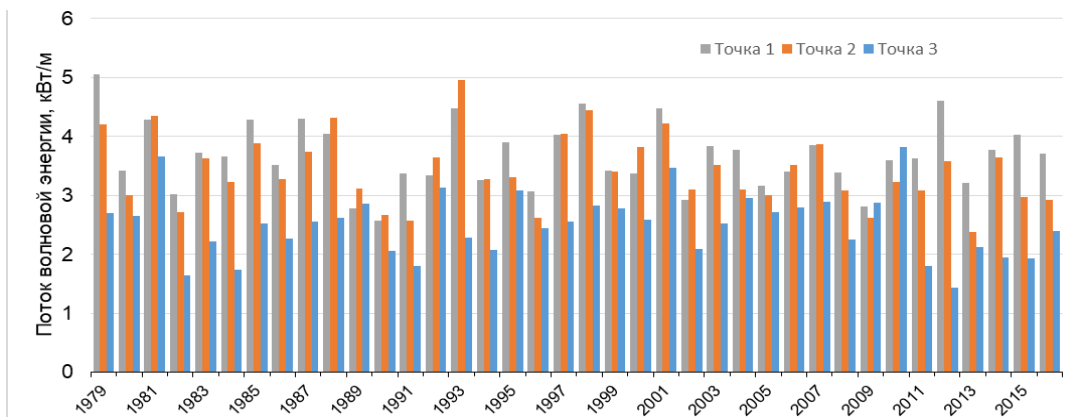


Рис. 4. Изменение среднегодовых значения потока волновой энергии кВт/м для трех точек за период 1979-2016.
 Fig. 4. The change in the average annual wave energy flux in kW / m for three points for the period 1979-2016.

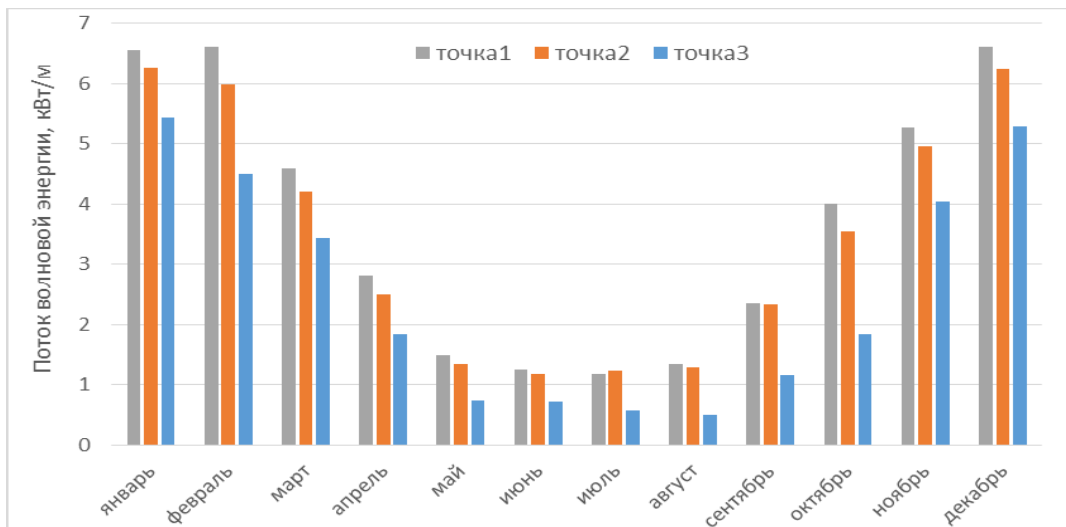


Рис. 5. Среднемноголетние (за период 1979-2016) значения потока волновой энергии для каждого месяца в трех точках.
 Fig. 5. Average long-term (for the period 1979-2016) values of the wave energy flux for each month at the three points.

Так же, как и для среднегодовых значений, для сезонных значений потока волновой энергии в западной части моря он во все сезоны больше, чем в центральной и восточной частях. В летние месяцы поток волновой энергии сильно уменьшается и составляет около 1.2–1.3 кВт/м для западной и центральной точки, и 0.6–0.7 кВт/м для восточной. В целом наблюдается значительная сезонная изменчивость потока волновой энергии, и в летние месяцы может, по всей видимости, становится более перспективным использование солнечной и ветровой энергии.

На следующем этапе анализа рассмотрим среднемесячные значения потока волновой энергии за весь период 1979–2016 гг. для точки 3 (рис. 6). Максимум наблюдается в феврале 2010 года и составляет 14.8 кВт/м, а минимум в сентябре 2015 – 0.1 кВт/м. Анализируя рис. 6. видно, что изменчивость потока волновой энергии даже в пределах одного конкретного года крайне велика.

Например, в средний поток волновой энергии в январе 1979 г. превышает 10 кВт/м, а в мае и июне 1979 г. не превышает 0.3 кВт/м. Получается, что величина среднемесячного потока энергии изменилась более чем в 30 раз. Такие перепады волновой энергии безусловно делают крайне затруднительным проектирование волновых электростанций в Черном море.

Однако, в зимние месяцы поток энергии стабильно превышает значение 2–4 кВт/м. Если обратиться к функции распределения (рис. 7), то видно, что в 60% случаев поток волновой энергии превышает 1 кВт/м, и только в 40% превышает 2 кВт/м. Такие показатели, к сожалению, уже не позволяют волновой энергии успешно конкурировать с ветровой и солнечной энергией [6].

На первый взгляд и среднегодовые, и среднемноголетние значения потока волновой энергии имеют относительно

высокие показатели, однако, поток волновой энергии сильно меняется во времени. Во время прохождения сильных штормов поток энергии может превышать 100 кВт/м, но шторма на Черном море наблюдается редко и в основном в зимний период [2]. Анализ среднемесячных значений потока волновой энергии также указывает на высокую временную изменчивость. Поэтому более корректным подходом для оценки потенциала доступной волновой энергии является использование обеспеченности.

Среднегодовая обеспеченность энергией более 1 кВт/м за весь период представлена на рис. 8. Видно, что только в 50% случаев в западной части моря поток энергии превышает 1 кВт/м. В восточной части обеспеченность составляет около 20–40%.

Для критериев 2 кВт/м и более в среднем для Черного моря обеспеченность не превышает 20–30%. На рис. 9. представлена средняя за период 1979–2016 гг. обеспеченность волновой энергией более 1 кВт/м отдельно для каждого из месяцев года. Наибольшая обеспеченность наблюдается в декабре и январе и составляет 70% для западной части моря. В мае и июне наблюдаются минимальные значения обеспеченности.

Так как потребители электроэнергии в основном располагаются на суше, то более предпочтительно размещать волновые энергетические установки в прибрежной зоне. Расчеты потенциала волновой энергии проводились на неструктурной сетке, поэтому полученные оценки можно считать корректными и для прибрежной зоны.

Анализируя рис. 8 и рис. 9 можно выявить наиболее перспективные районы для установки волновых энергетических установок. Для России этой районы запада и юга полуострова Крым, Туапсе, юг Керченского пролива. Также перспективен район от Стамбула до мыса Синоп.

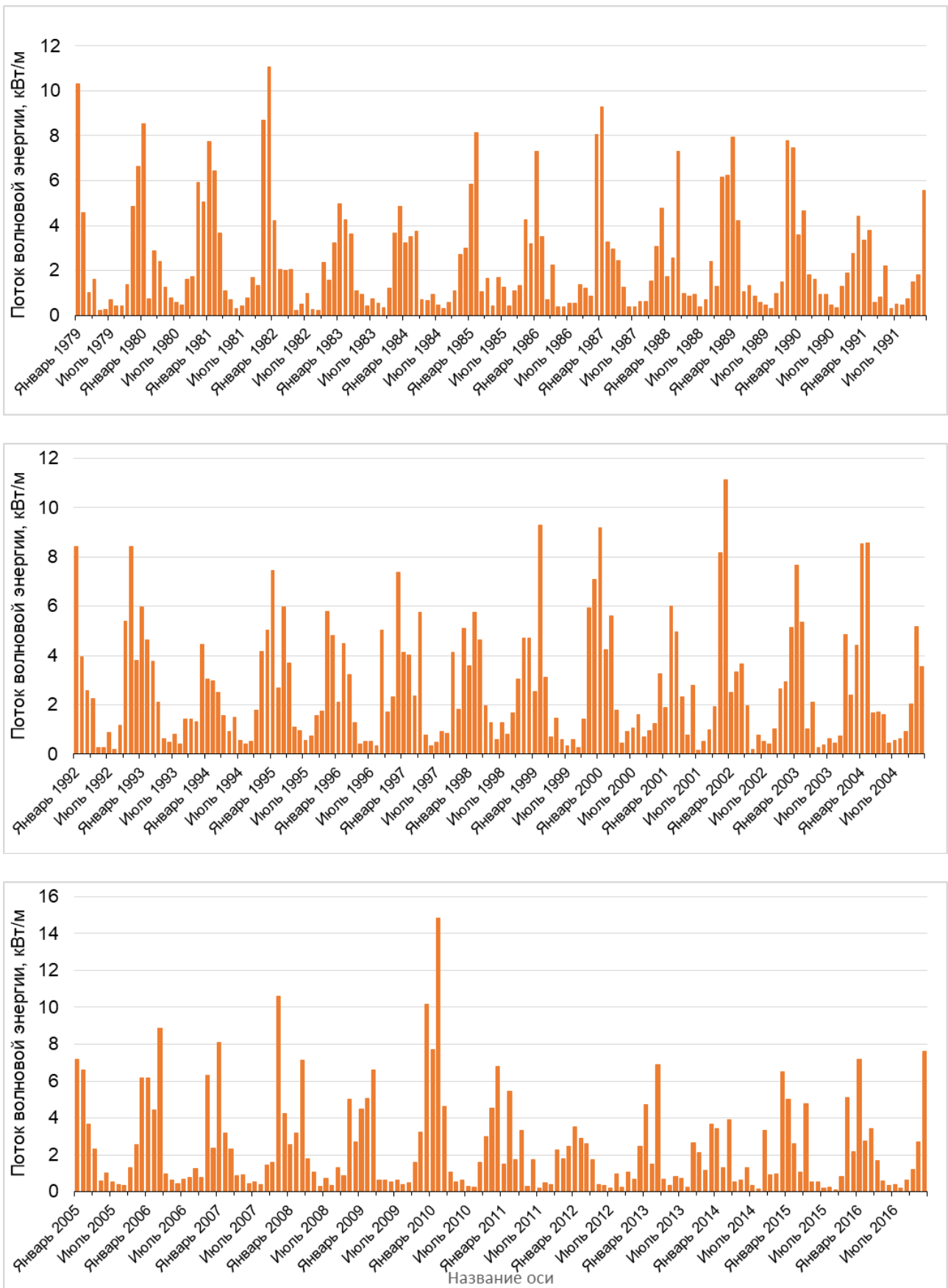


Рис. 6. Среднемесячный поток волновой энергии в точке 3.

Fig. 6. The average monthly wave energy flux at point 3.

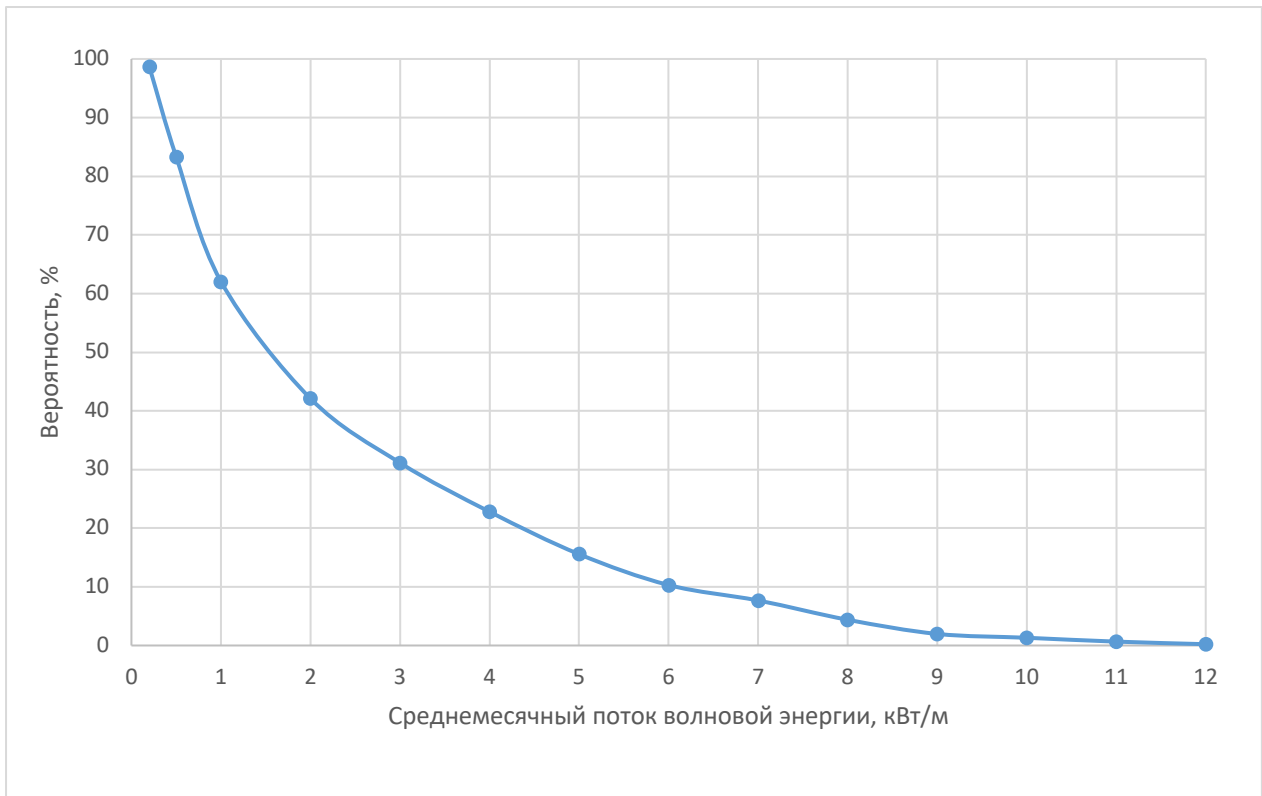


Рис. 7. Функция распределения для среднемесячного потока волновой энергии в точке 3.

Fig. 7. The distribution function for the monthly mean wave energy flux at point 3.

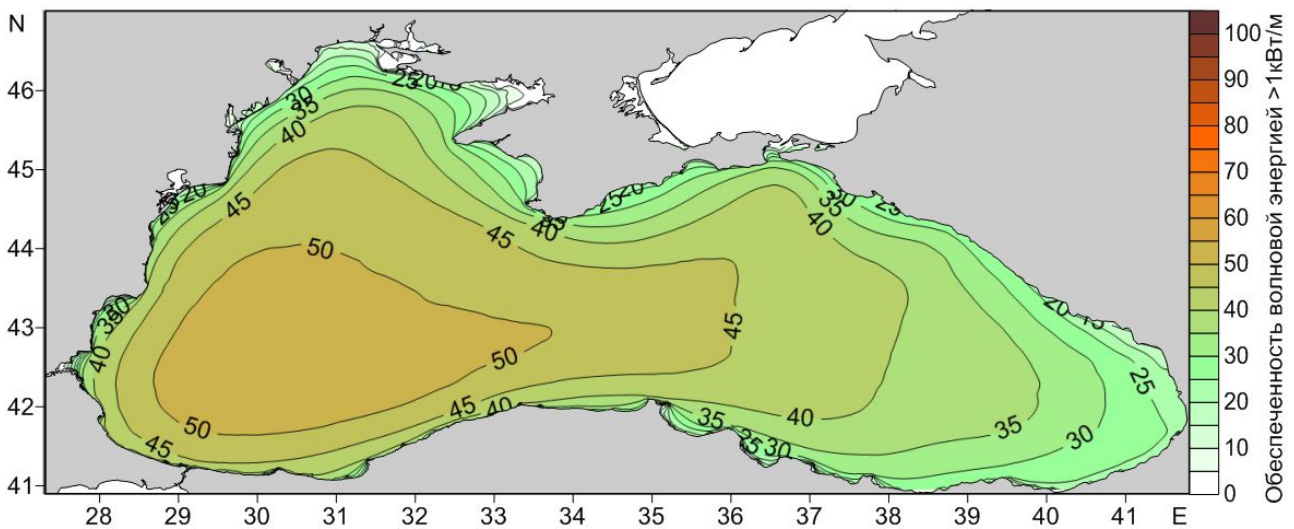


Рис. 8. Среднегодовая обеспеченность волновой энергией более 1кВт/м.

Fig. 8. The average occurrence of wave energy exceeding 1kW/m.

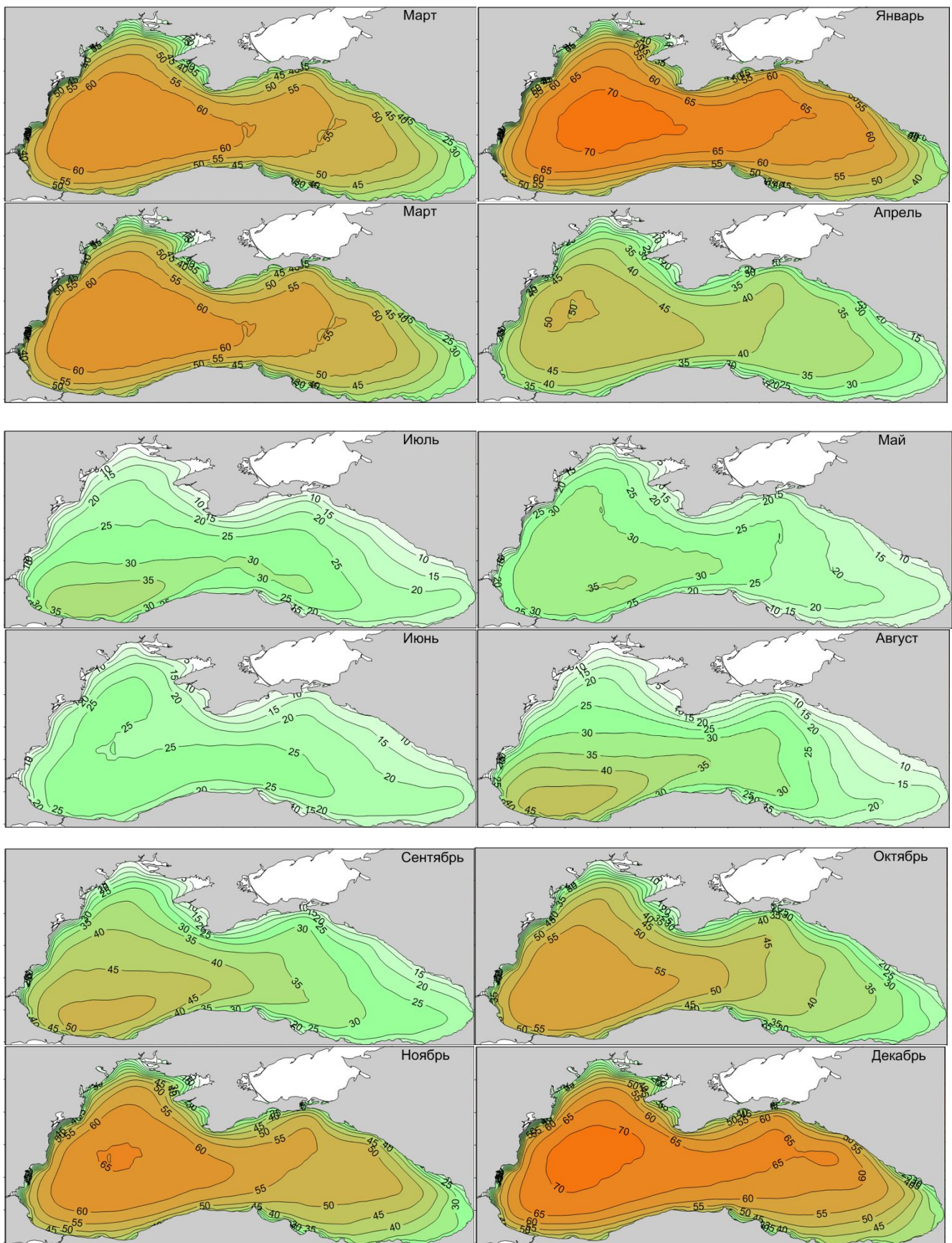


Рис. 9. Среднемесячная многолетняя обеспеченность волновой энергией более 1кВт/м для разных месяцев.

Fig. 9. Average monthly long-term occurrence of wave energy exceeding 1kW/m for different months.

В целом количество доступной волновой энергии для Черного моря невелико. Например, для Баренцева моря эти показатели на порядок выше [10]. С другой стороны, количество возможных потребителей этой энергии для Черного моря намного больше, чем для Баренцева моря, поэтому оценки потенциала волновой энергии для Черного моря остаются актуальной задачей.

Выводы

На основе данных волнового реанализа получены среднесезонные значения потока волновой энергии в Черном море за период 1979–2016 гг. Рассчитаны среднемесячные обеспеченности волновой энергии для нескольких пороговых критериев. Расчеты проводились на неструктурной сетке, что позволило корректно оценить потенциал волновой энергии в открытом море и в прибрежной зоне.

Среднесезонные значения потока волновой энергии в Черном море меняются от 3–4 кВт/м в западной части моря до 1.5–3 кВт/м в восточной. Среднегодовая обеспеченность энергией более 1 кВт/м за весь период составляет 50% для западной части моря.

Анализ межгодовой изменчивости показал, что в период с 1989 по 1991 гг. наблюдались низкие значения потока волновой энергии. В 1993 г. наблюдался максимум 5 кВт/м. Тренда на повышение штормовой активности и увеличения средних значений волновой энергии за период с 1979 по 2016 гг. не выявлено.

Наблюдается значительная сезонная изменчивость потока волновой энергии, и в летние месяцы составляет около 0.6–1.3 кВт/м можно, в зимние месяцы в около 5–6 кВт/м.

Наибольшая обеспеченность более 1 кВт/м наблюдается в декабре и январе и составляет 70% для западной части моря. В мае и июне наблюдаются минимальные значения обеспеченности.

Установлено, что наиболее перспективные районы для установки волновых энергетических установок – это западное и южное побережье полуострова Крым, район Туапсе, юг Керченского пролива. Также перспективен район побережья от Стамбула до мыса Синоп.

Работы выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-80088.

Литература

1. Архипкин В.С., Васильков А.Г., Киселева С.В., Мысленков С.А., Темеев А.А., Темеев С.А., Умнов П.М. Оценка потенциала волновой энергии прибрежной акватории полуострова Крым // *Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология*. 2015. № 20. С. 25-35.
2. Гиппиус Ф.Н., Архипкин В.С. Многолетняя изменчивость штормового волнения на Черном море по результатам моделирования // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2017. № 1. С. 38-47.
3. Горлов А.А. Научная и экспериментальная инфраструктура развития морских ВИЭ // *Энергия: экономика, техника, экология*. 2017. № 4. С. 21-31.
4. Горлов А.А. «Энергетика ветрового волнения и океанских течений» // *Энергия: экономика, техника, экология*. 2015. №2. С. 30-39.
5. Дивинский Б. В., Косьян Р. Д. Климатические тенденции в волновом энергетическом потенциале Черного и Азовского морей по результатам численного моделирования // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2016. № 1. С. 14-21.
6. Киселева С.В., Шестакова А.А., Торопов П.А., Мысленков С.А. Оценка ветроэнергетического потенциала Черноморского побережья Кавказа с использованием реанализа CFSR // *Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология*. 2016. № 15-18. С. 75-85.
7. Лопатухин Л.И., Бухановский А.В., Иванов С.В., Чернышова Е.С. Справочные данные по режиму ветра и волнения Балтийского, Северного, Черного, Азовского и Средиземного морей. Российский морской регистр судоходства. СПб, 2006
8. Минин В. А., Дмитриев Г. С., «Перспективы освоения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии на Кольском полуострове», Мурманск: Изд-во Беллона, 2007.

9. Мысленков С.А., Столярова Е.В. Прогноз ветрового волнения в Черном море с использованием прогностических полей ветра различного пространственного разрешения // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2016. № 362. С. 55-65.
10. Мысленков С.А., Столярова Е.В., Маркина М.Ю., Киселева С.В., Архипкин В.С., Горлов А.А., Умнов П.М. Сезонная и межгодовая изменчивость потока волновой энергии в Баренцевом море // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2017. № 19-21. С. 36-48.
11. Мысленков С.А., Столярова Е.В., Архипкин В.С. Система прогноза ветрового волнения в Черном море с детализацией в шельфовых зонах // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. 2017. № 44. С. 126-135.
12. Akpinar A., Ihsan K m rc  M. Assessment of wave energy resource of the Black Sea based on 15-year numerical hindcast data // Applied Energy. 2013. V. 101. P.502-512.
13. Akpinar, Adem; Bing lbali, Bilal; Van Vledder, Gerbrant Ph. Long-term analysis of wave power potential in the Black Sea, based on 31-year SWAN simulations // Ocean Engineering, Vol. 130, 15.01.2017, p. 482-497.
14. Aydogan B., Ayat B., Y ksel Y. Black Sea wave energy atlas from 13 years hindcasted wave data // Renewable Energy. 2013. V. 57. P. 436-447.
15. Booij N., Ris R.C., Holthuijsen L.H. A third-generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation // Journal of Geophysical Research: Oceans. – 1999. Vol. 104., № C4. P. 7649-7666.
16. Gippius F., Myslenkov S., Stoliarova E., Arkhipkin V. Wave climate of the black sea's coastal waters during the last three decades // Managing risks to coastal regions and communities in a changing world. EMECS'11 - Seacoasts XXVI. Proceedings of International Conference. St. Petersburg, 2016. P. 395-402.
17. Myslenkov S., Chernyshova A. Comparing wave heights simulated in the Black Sea by the swan model with satellite data and direct wave measurements // Russian Journal of Earth Sciences. 2016. T. 16. № 5. С. 1-12.
18. Onea, F.; Rusu, L. A Long-Term Assessment of the Black Sea Wave Climate // Sustainability. 2017. vol. 9, p. 1875.
19. Saha S. et al. The NCEP climate forecast system reanalysis // Bulletin of the American Meteorological Society. 2010. Vol. 91., № 8. P. 1015-1057.
20. Saha S. et al. The NCEP Climate Forecast System Version 2 // J. Climate. 2014. Vol. 27. P. 2185-2208. DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00823.1.
21. Van Vledder, G.Ph., and Adem Akpinar Wave model predictions in the Black Sea: Sensitivity to wind fields // Applied Ocean Research. 2015. vol. 53, p. 161-178.

Reference

1. Arkhipkin V.S., Vaskov A.G., Kiseleva S.V., Myslenkov S.A., Temeyev A.A., Temeyev S.A., Umnov P.M. Assessing the potential of wave energy in coastal waters of Crimea peninsula // International Journal of Alternative Energy and Ecology. 2015. No. 20. P. 25-35.
2. Gippius F.N., Arkhipkin V.S. Interannual variability of storm waves in the Black Sea according to numerical modeling results // Moscow University Bulletin. Series 5: Geography. 2017. No. 1. P. 38-47.
3. Gorlov A.A. Scientific and experimental infrastructure for the development of marine renewable energy sources // Energy: economics, technology, ecology. 2017. No. 4. P. 21-31.
4. Gorlov A.A. "Energy wind waves and ocean currents" // Energy: economy, technology, ecology. 2015. №2. Pp. 30-39.
5. Divinsky B.V., Kosyan R.D. Climate tendencies in the wave energy potential of the Black and Azov seas according to the results of numerical modeling // Ecological safety of coastal and offshore zones of the sea. 2016. No. 1. P. 14-21.
6. Kiseleva S.V., Shestakova A.A., Toropov P.A., Myslenkov S.A. Evaluation of the wind energy potential of the Black Sea coast of the Caucasus using CFSR reanalysis // International Journal of Alternative Energy and Ecology. 2016. № 15-18. Pp. 75-85.
7. Lopatukhin L.I., Bukhanovsky A.V., Ivanovov V.V., Chernyshova E.S. Reference data on the wind and waves of the Baltic, North, Black, Azov and Mediterranean seas. Russian Maritime Register of Shipping. SPb, 2006
8. V. A. Minin, G. Dmitriev, "Perspectives on the Exploitation of Non-Traditional and Renewable Energy Sources on the Kola Peninsula", Murmansk: Bellona Publishing House, 2007.
9. Myslenkov S.A., Stolyarova E.V. Wave forecast for the Black Sea using wind forecasts of different space resolution // Proceedings of the Hydrometeorological Scientific Research Center of the Russian Federation. 2016. No. 362. S. 55-65.
10. Myslenkov S.A., Stolyarova E.V., Markina M.Yu., Kiseleva S.V., Arkhipkin V.S., Gorlov

- A.A., Umnov P.M. Seasonal and inter-annual variability of the wave energy flow in the Barents Sea // *Alternate Energy and Ecology (IS-JAEE)*. 2017. No. 19-21. Pp. 36-48.
11. Myslenkov S.A., Stolyarova E.V., Arkhipkin V.S. The system of the wind wave forecast in the Black Sea with detailization in the shelf zones // *Results of testing new and improved technologies, models and methods of hydro-meteorological forecasts*. 2017. No. 44. P. 126-135.
 12. Akpınar A., Ihsan Kömürçü M. A 15-year numerical hindcast data on the 15th-year Assessment of the Wave Energy Source // *Applied Energy*. 2013. V. 101. P.502-512.
 13. Akpınar, Adem; Bingölbalı, Bilal; Van Vledder, Gerbrant Ph. SWAN simulations based on 31-year SWAN simulations // *Ocean Engineering*, Vol. 130, 01/15/2017, p. 482-497.
 14. Aydoğan B., Ayat B., Yüksel Y. Black Sea wave energy atlas from 13 years of hindcasted wave data // *Renewable Energy*. 2013. V. 57. R. 436-447.
 15. Booij N., Ris R.C., Holthuijsen L.H. A third-generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. - 1999. - Vol. 104., No. C4. - P. 7649-7666.
 16. Gippius F., Myslenkov, S., Stoliarova, E., Arkhipkin, V. EMECS'11 - Seacoasts XXVI. Proceedings of the International Conference. St. Petersburg, 2016. P. 395-402.
 17. Myslenkov, S., Chernyshova A. Comparing wavelengths and helix simulations, *Russian Journal of Earth Sciences*. 2016. V. 16. No. 5. S. 1-12.
 18. Onea, F.; Rusu, L. A Long-Term Assessment of the Black Sea Wave Climate // *Sustainability*. 2017. Vol. 9. p. 1875.
 19. Saha S. et al. The NCEP climate forecast system reanalysis // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2010. Vol. 91. № 8. P. 1015-1057.
 20. Saha S. et al. The NCEP Climate Forecast System Version 2 // *J. Climate*. - 2014. - Vol. 27. - p. 2185-2208. DOI: 10.1175 / JCLI-D-12-00823.1.
 21. Van Vledder, G.Ph., and Adem Akpınar Wave model predictions in the Black Sea: Sensitivity to wind fields // *Applied Ocean Research*. 2015. vol. 53, p. 161-178.



ESTIMATION OF WAVE ENERGY RESOURCES OF THE BLACK SEA

Myslenkov S.A.

Stolyarova E.V.

Gippius F.N.

Lomonosov Moscow State University

E-mail: stassas@yandex.ru

E-mail: leno4ekstolyarova@gmail.com

E-mail: fedor.gippius@gmail.com

Abstract. *The seasonal variability of wave energy potential in the Black Sea is analyzed using data of a wind wave hindcast. Wave parameters were calculated using the SWAN model and wind data from the NCEP/CFSR reanalysis data for the period between 1979 and 2010 and NCEP/CFSv2 reanalysis for the period from 2011 till 2016. The calculations were performed on an unstructured mesh with spatial resolution varying from 12 km offshore till 200–500 m in coastal areas. The maps of mean annual energy flux distribution for the period 1979-2016 were obtained. The probability of average monthly wave energy for several criteria is calculated. The average annual distribution of the wave energy flux in the Black Sea varies from 3-4 kW/m in the western part of the sea to 1.5-3 kW/m in the eastern part. The average annual energy probability over 1 kW/m over the entire period is 50% for the western part of the sea. The largest energy probability over 1 kW/m is observed in December and January and is 70% for the western part of the sea. In May and June, minimal energy probability is observed.*

Keywords: *wave energy, energy potential, wave modeling, supply of wave energy, Black Sea.*

© Коллектив авторов, 2018

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФОРМИРОВАНИЯ ПАРИЗИТА И БАСТНЕЗИТА В СОДОВЫХ ОЗЕРАХ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Борзенко С.В.

Замана Л.В.

Еремин О.В.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН

Адрес: 672000, г. Чита, а/я 1032

E-mail: svb_64@mail.ruE-mail: l.v.zamana@mail.ruE-mail: yeroleg@yandex.ru

Аннотация. На основе данных химического состава содовых озёр Юго-Восточного Забайкалья проведён термодинамический анализ поведения растворённых в воде редкоземельных элементов (РЗЭ). Расчёты равновесных состояний показывают, что озёрные воды пресыщены лёгкими лантаноидами, что приводит к осаждению фторкарбонатов - паризита ($\text{CaCe}_{0.95}\text{La}_{0.6}\text{Nd}_{0.35}\text{Pr}_{0.1}(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$) и бастнезита ($\text{Ce}_{0.5}\text{La}_{0.25}\text{Nd}_{0.2}\text{Pr}_{0.05}\text{CO}_3\text{F}$), а также флуоцерита (LaF_3). Представленные результаты свидетельствуют о возможности участия редкоземельных элементов в современном озерном седиментогенезе.

Ключевые слова: Содовые озёра, редкоземельные элементы, озёрный седиментогенез.

Распределение редкоземельных элементов (РЗЭ) в различных типах природных вод отражено во многих публикациях и продолжает широко изучаться [1-7, 11, 13, 14, 18]. Минеральные озера благодаря разнообразию их состава и солёности, интенсивному осадкообразованию, предоставляют большие возможности для исследования гидрогеохимии редких элементов и участия их в современном седиментогенезе. В числе процессов, ограничивающих накопление лантаноидов в водах, обычно рассматривается сорбция их гидроксидами поливалентных металлов (железо, марганец, кобальт), соединениями фосфора и др. В то же время нередко отмечается наличие в осадочных породах собственных аутигенных минералов РЗЭ в виде фосфатных соединений, в частности, монацита, и фторкарбонатов паризита и бастнезита [1, 3], при этом образование в результате выпадения их из насыщенных водных растворов природных вод не рассматривается. Для выяснения возможности формирования собственных минеральных образований РЗЭ нами выбраны минеральные содовые озера Юго-Восточного Забайкалья.

Большая часть рассматриваемых озёр сосредоточена на юго-востоке За-

байкалья в пределах Цасучейской впадины, выполненной среднеплейстоценовыми песчано-глинистыми осадками «белесой» толщи, перекрывающими эффузивно-осадочные породы мезозоя, местами выходящие на дневную поверхность. В северо-восточном обрамлении впадины по левобережью р. Борзя возвышается окруженный цепочкой озёр выступ терригенно-карбонатных пород девона. За пределами Цасучейской впадины, в ее северном обрамлении в контурах распространения магматических пород мезозоя и метаморфических толщ палеозоя расположены Агинские озера. Все озера относятся к Онон-Борзинской лимнической системе, насчитывающей по минимуму, даже в периоды засух, более сотни солоноватых и соленых озёр. Все водоемы бессточные, повышенная солёность их вызвана процессами эвапоритизации [8]. С ростом минерализации вод хлоридно-гидрокарбонатно-карбонатный (от меньшего к большему) натриевый состав меняется на гидрокарбонатно-карбонатно-хлоридный натриевый [9], при этом значение pH не опускается ниже 9 (таблица 1).

Донные осадки большинства озёр представлены черными илами с примесью глинистого материала (каолинит, монтмориллонит, гидрослюда), оксидов,

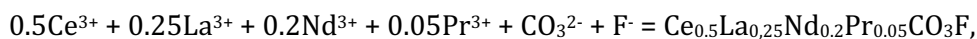
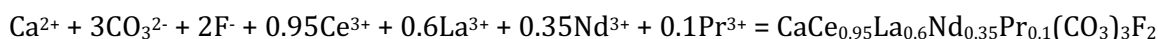
гидроксидов и сульфидов железа (гидротроилит), органического вещества и карбонатов (кальцит-доломит) с ярко выраженным запахом сероводорода, который зачастую фиксируется и в водной толще, поэтому значения Eh здесь часто находятся в области отрицательных значений.

Определения РЗЭ в подземных и озерных водах были выполнены в Аналитическом центре Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск) методом ICP-MS на приборе ELEMENT 2, фирмы Finnigan MAT. Нижний предел обнаружения для РЗЭ составляет 0.001 мкг/л, при этом среднее стандартное отклонение 10.6 %, максимальные величины его пришлось на тулий Tm (20.6 %) и лютеций Lu (22.7 %). Анализ РЗЭ донных осадков был выполнен методом ICP-AES на приборе OPTIMA 2000 DV в лаборатории химико-спектральных методов анализа Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ). Химический анализ макро- и микрокомпонентного (железо, алюминий, марганец и др.) состава вод проведен стандартными методами в лаборатории ИПРЭК СО РАН.

Общее содержания ΣРЗЭ в растворенной форме (пробы профильтрованы через мембранный фильтр с диаметром пор 0.45 мкм) варьируют в широком диапазоне от сотых долей до 82.3 мкг/л. По мере роста минерализации вод концентрации ΣРЗЭ растворенной фракции в основной массе снижаются, напротив, в

донных осадках растут. Причем, накапливаются в осадках преимущественно легкие ЛРЗЭ (La-Nd), что хорошо прослеживается по отношениям нормализованных по NASC (северо-американскому сланцу [15]) значений La_n/Yb_n , которые растут с ростом солености вод от 0.93 в солоноватом оз. Безымянное (табл., проба 14-14) до 2.05 в оз. Гэзэгэй-Нур (пр. 14-08) с соленостью 38.0 г/л. В озерах с минерализацией вод более 30 г/л и ярко выраженной сульфатредукцией (оз. Куджертай (пр. 13-35), Малые Якши (пр. 13-37), Зун-Торей (пр. 13-64) и др.) в составе растворенной фракции РЗЭ в абсолютных концентрациях преобладают уже средние СРЗЭ (Sm-Ho) и тяжелые ТРЗЭ (Er-Lu). Не накапливается здесь и церий Се, хотя согласно представлениям [4] в ходе восстановительного диагенеза оксигидроксидные соединения железа и марганца могут частично растворяться, что должно приводить к перераспределению связанных с ними РЗЭ, в особенности более мобильного церия, который в анаэробных условиях восстанавливается (Ce^{4+} до Ce^{3+}) и переходит обратно в растворенное состояние.

Отставание в накоплении ЛРЗЭ может объясняться формированием собственных фторкарбонатов, в частности, паризита $CaCe_{0.95}La_{0.6}Nd_{0.35}Pr_{0.1}(CO_3)_3F_2$ и бастнезита $Ce_{0.5}La_{0.25}Nd_{0.2}Pr_{0.05}CO_3F$. Для выяснения возможности их образования нами по приведенным в [6, 10, 16, 17] термодинамическим данным рассчитаны константы реакций:



которые составили соответственно $10^{93.6}$ и $10^{41.4}$.

Отсюда произведение растворимости (ПР), как обратная величина константы образования равно $10^{-93.6}$ для паризита и $10^{-41.4}$ для бастнезита. По средним концентрациям компонентов про-

изведение активностей (ПА), рассчитанного с учетом коэффициентов активностей, по паризиту равно 10^{-36} и по бастнезиту – 10^{-19} , что существенно превышает их ПР и свидетельствует о насыщении вод по этим минералам.

Таблица 1.

Основные физико-химические параметры некоторых минеральных озер Юго-Восточного Забайкалья

Шифр пробы	Eh мВ	pH	CO ₃ ²⁻	ΣΣ _{анк.}	C _{ср}	O ₂	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl	F	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	M	P	Si	Al	Mn	Fe
13-02	98.9	9.83	144	<0.001	16.7	10.9	610	570.0	974.8	6.44	13.1	33.6	1058.2	88.5	3499	0.12	0.32	13.4	1.56	18
14-08	-10.8	9.31	1740	0.07	76.8	1.05	2916	1344	13916	34.6	6.56	28.3	18036	34.6	38056	3.75	7.74	118.7	4.24	96.8
14-14	88.2	9.02	174	0.29	48.5	12.4	1240	115	94.1	7.92	36.0	176.3	302.5	22.2	2168	0.35	1.82	8.38	0.85	15.0
14-16	99.5	9.53	660	0.09	51.3	10.8	1647	660	83.4	0.74	4.57	150.7	1157	24.0	4388	0.06	0.80	8.03	0.35	2.74
13-35	-35.0	10.7	18600	12.4	475	0.58	5612	991	14180	72.3	3.3	40.3	18567	440.8	58506	0.69	2.94	51.7	10.90	2579
13-37	-12.0	9.60	1452	23.5	137.4	1.10	2379	793	2120	10.4	2.87	38.3	3035	161.7	9992	0.65	2.29	37.8	1.52	31.2
13-64	-7.0	9.46	996	0.06	22.9	1.20	1928	1210	1560	11.2	0.84	82.4	2527	23.5	8338	0.29	0.75	0.03	3.36	133
Среднее (n=59)	99.2	9.58	1114	1.29	187.8	7.96	1419	1166	2910	13.9	11.0	59.2	3634	64.9	10510	0.76	1.91	453	19.3	505
Лантаноиды																				
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣPЗЭ	La ₇ Yb ₁	Ce _n			
в) растворенная форма, мкг/л																				
13-02	0.014	0.016	0.002	0.035	0.025	0.007	0.003	0.001	0.003	0.028	0.009	0.001	0.002	0.001	0.15	0.53	0.64			
14-08	0.025	0.052	0.013	0.196	0.028	0.005	0.029	0.005	0.066	0.012	0.032	0.005	0.034	0.006	0.51	0.07	0.57			
14-14	0.010	0.015	0.001	0.007	0.003	0.001	0.004	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.04	1.58	0.84			
14-16	0.006	0.018	0.002	0.011	0.009	0.001	0.003	0.001	0.002	0.003	0.005	0.001	0.004	0.001	0.07	0.15	1.03			
13-35	0.179	6.831	0.093	0.695	0.283	0.070	0.168	0.087	0.533	0.167	0.854	0.162	1.211	0.187	11.5	0.02	1.10			
13-37	0.010	0.066	0.003	0.013	0.005	0.001	0.003	0.001	0.008	0.002	0.010	0.001	0.009	0.002	0.14	0.10	1.00			
13-64	0.116	0.304	0.025	0.135	0.019	0.005	0.019	0.004	0.022	0.006	0.023	0.004	0.025	0.004	0.71	0.67	1.24			
Среднее (n=59)	0.59	1.268	0.146	0.732	0.156	0.034	0.112	0.024	0.122	0.039	0.092	0.011	0.082	0.016	3.24	0.25	0.88			
б) донные отложения, г/т																				
14-08	35.0	82.2	7.42	33.1	5.30	1.15	4.57	0.68	3.93	0.73	2.20	0.32	1.65	0.21	158.0	2.05	1.11			
14-14	15.3	39.0	3.60	14.7	3.40	0.66	2.70	0.47	2.40	0.55	1.70	0.30	1.60	0.18	86.6	0.93	1.14			
14-16	13.3	28.6	2.90	12.7	2.90	0.62	2.20	0.50	1.85	0.50	1.15	0.30	1.20	0.12	68.8	1.07	1.00			
14-16к	28.9	30.8	5.70	16.6	5.50	1.00	4.50	0.70	3.80	0.74	2.30	0.35	2.20	0.25	112.3	1.27	0.52			
Среднее (n=8)	23.46	50.08	5.00	21.91	4.27	0.86	3.52	0.56	3.01	0.62	1.89	0.31	1.62	0.19	115.0	1.41	1.01			

Поскольку система «вода-порода» многокомпонентна, был проведен расчет равновесий с использованием программного комплекса «Селектор» [12]. На основе химического состава воды содового оз. Барун-Холво-1 (пр. 13-02) сформирована модель термодинамического равновесия системы при нормальных условиях. Твёрдые фазы рассматривались как идеальные твёрдые растворы минералов различных химических классов – карбонатов, сульфатов, галогенидов, оксидов и гидроксидов. Согласно расчетам основное количество легких PЗЭ (La-Nd) переходит из раствора в твёрдую фазу в виде бастнезита и паризита, незначительное количество лантана – в виде флуоцерита. Не исключена возможность осаждения в донные осадки сорбированных лантаноидов вновь образующимися хемогенными минералами. Термодинамическими расчетами подтверждается возможность формирования гидрогенных карбонатов,

апатита, гематита и других гидроксидов металлов.

Об осаждении карбонатов лантаноидов свидетельствуют данные по свежевыпавшим карбонатным коркам, отобраным в прибрежье содового оз. Цаган-Нор (пр. 14-16к), в которых содержание ΣPЗЭ почти в два раза выше, чем в илах того же озера (пр. 14-16). При этом в сформировавшемся карбонатном осадке мольные доли лантаноидов, за исключением церия, по отношению к общему содержанию близки паразиту: Ce – 0.75, La – 0.71, Nd – 0.40, Pr – 0.14.

Представленные результаты показали возможность участия редкоземельных элементов в современном озерном седиментогенезе с образованием собственных фторкарбонатных минералов, в частности, паризита, бастнезита, а также флуоцерита. Определяющим фактором накопления легких лантаноидов в донных осадках озер является эвапори-

товая седиментация вследствие засушливого климата Юго-Восточного Забайкалья.

Работа выполнена по проекту IX.137.1.2 (№ госрегистрации АААА-А17-117011210077-2).

Литература

1. Балашов А.Ю. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 267 с.
2. Вах Е.А., Вах А.С., Харитоновна Н.А. Содержание редкоземельных элементов в водах зоны гипергенеза сульфидных руд Березитового месторождения (Верхнее Приамурье) // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32. №1. С. 105-115.
3. Вах Е.А., Харитоновна Н.А., Вах А.С. Поведение редкоземельных элементов при формировании углекислых гидрокарбонатных минеральных вод Приморья // Известия вузов. Геология и разведка. 2013. № 4. С. 48-57.
4. Дубинин А.В. Геохимия редкоземельных элементов в океане // Литология и полезные ископаемые. 2004. Т. 39. № 4. С. 339-358.
5. Еремин О.В., Абрамов Б.Н. Распределение лантаноидов и иттрия в породах и карьерных водах Шерловогорского олово-полиметаллического месторождения (Восточное Забайкалье) // Вода: химия и экология. – 2016. – № 1. С. 18-23.
6. Еремин О.В., Борзенко С.В., Эпова Е.С., Русаль О.С., Бычинский В.А. Оценка энергий Гиббса фторкарбонатов лёгких лантаноидов/Всероссийский ежегодный семинар по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии. Москва, 19-20 апреля 2016 года. /Отв. редактор А.А.Кадик, - М: ГЕОХИ РАН, 2016, с. 153-155.
7. Еремин О.В., Замана Л.В., Эпова Е.С., Смирнова О.К. Изучение равновесий актиноидов и лантаноидов в металлоносных рудничных водах месторождения вольфрама Бом-Горхон (Забайкалье) / Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы V Междунар. конф. — Томск: STT, 2016. — С. 219 – 222.
8. Замана Л.В. Формирование и трансформация химического состава вод минеральных озер (на примере Забайкалья) // Доклады Академии Наук. 2009. Т. 428. № 3. С. 382-385.
9. Замана Л.В., Борзенко С.В. Гидрохимический режим соленых озер юго-восточного Забайкалья // География и природные ресурсы. 2010. № 4. С. 100– 107.
10. Лидин Р.А., Андреева Л.Л., Молочко В.А. Константы неорганических веществ: справочник. Под ред. Лидина Р.А. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Дрофа, 2006. 685 с.
11. Чудаева В.А., Чудаев О.В. Особенности накопления и фракционирования редкоземельных элементов в поверхностных водах Дальнего Востока в условиях природных и антропогенных аномалий // Геохимия. 2011. № 5. С. 523-549.
12. Чудненко К.В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. Новосибирск, ГЕО, 2010. 287 с.
13. Bau M., Schmidt K., Pack A., Bendel V., Kraemer D. The European Shale: An improved data set for normalisation of rare earth element and yttrium concentrations in environmental and biological samples from Europe // Applied Geochemistry (2018), doi: 10.1016/j.apgeochem.2018.01.008.
14. Bayon G., Toucanne S., Skonieczny C., Andre´ L., Bermell S., Cheron S., Dennielou B., Etoubleau J., Freslon N., Gauchery T., Germain Y., Jorry S.J., Me´not G., Monin L., Ponzevera E., Rouget M.-L., Tachikawa K., Barrat J.A. Rare earth elements and neodymium isotopes in world river sediments revisited // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2015. – V. 170. – P. 17–38.
15. Gromet L.P., Dymek R.F., Haskin L.A., Korotev R.L. The “North American Shale Composite”: Its Compilation, Major and Trace Element Characteristics // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1984. V. 48. No 12. P. 2469-2482.
16. Gysi A.P., Williams-Jones A.E. The thermodynamic properties of bastnasite-(Ce) and parisite-(Ce) // Chemical Geology. 2015. V. 392. P. 87-101.
17. Navrotsky A., Lee W., Mielewczyk-Gryn A., Ushakov S.V., Anderko A., Wu H., Riman R.E.

Thermodynamics of solid phases containing rare earth oxides // *J. Chemical Thermodynamics*. 2015. V. 86. P. 126-141.

18. Shand P., Johannesson K.H., Chudaev O., Chudaeva V. *Rare Earth Elements In Groundwater Flow System*. Springer. 2004. P. 161-186.

References

1. Balashov Y. A. *Geochemistry of rare earth elements*. M.: Nauka, 1976. 267 p.
2. Vakh E. A., Vakh A. S., Kharitonova. The contents of rare earth elements in waters of hypergenesis zone of sulfide ores of gold deposits (Upper Amur region) // *Pacific Geology*. 2013. Vol. 32. № 1. P. 105-115.
3. Vakh, E. A., Kharitonova N. A. Vakh A. S. The behavior of rare earth elements in the formation of carbonate mineral waters of Primorye // *Izvestiya vuzov. Geology and exploration*. 2013. № 4. P. 48-57.
4. Dubinin, A.V., *Geochemistry of rare earth elements in the ocean* // *Lithology and Mineral Resources*. 2004. Vol. 39. № 4. P. 339-358.
5. Eremin O. V., Abramov B. N. Distribution of lanthanides and yttrium in rocks and quarry waters of Sherlovogorsk tin-polymetallic deposit (Eastern Transbaikalia) // *Water: chemistry and ecology*. - 2016. № 1. P. 18-23.
6. Eremin O. V., Borzenko S. V., Epova E. S., Rusal' O. S., Bychinskii V.A. Assessment of Gibbs energies of fluorocarbonates of LREE/All-Russian annual seminar on experimental mineralogy, petrology and geochemistry. Moscow, 19-20 April 2016. /Major editor A. A. Kadik, - M: Russian Academy of Sciences, 2016, p.153-155.
7. Eremin O. V., Zamana L. V., Epova E. S., Smirnova O. K., The study of the equilibria of actinides and lanthanides in metalliferous mine waters of tungsten Bom-Gorkhon deposit (Transbaikalia) / *Radioactivity and radioactive elements in human environment: materials of the V International Conference - Tomsk: STT, 2016. - P. 219-222.*
8. Zamana L. V. The formation and transformation of the chemical composition of water of mineral lakes (on the example of Baikal region) // *Doklady of the Russian Academy of Sciences*. 2009. Vol. 428. № 3. P. 382-385.
9. Zamana L. V., and Borzenko, S. V. Hydrochemical regime of saline lakes of South-Eastern Trans-Baikal // *Geography and natural resources*. 2010. № 4. P. 100– 107.
10. Lidin R. A., Andreeva L. L., Molochko V. A. Constants of inorganic substances: Handbook. Ed. by R. A. Lidin – 2-e Izd., Rev. and add., Moscow: Drofa, 2006. 685 p.
11. Chudaeva, V. A., Chudaev O. V. Peculiarities of accumulation and fractionation of rare earth elements in surface waters of the Far East in the conditions of natural and anthropogenic anomalies // *Geochemistry*. 2011. № 5. P. 523-549.
12. Chudnenko K. V. *Thermodynamic modeling in geochemistry: theory, algorithms, software, applications*. Novosibirsk, GEO, 2010. 287 p.
13. Bau M., Schmidt K., Pack A., Bendel V., Kramer D. The European Shale: An improved data set for normalisation of rare earth element and yttrium concentrations in environmental and biological samples from Europe // *Applied Geochemistry* (2018), doi: 10.1016/j.apgeochem.2018.01.008.
14. Bayon G., Toucanne S., Skonieczny C., Andre' L., Bermell S., Cheron S., Dennielou B., Etoubleau J., Freslon N., Gauchery T., Germain Y., Jorry S.J., Me'not G., Monin L., Ponzevera E., Rouget M.-L., Tachikawa K., Barrat J.A. Rare earth elements and neodymium isotopes in world river sediments revisited // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2015. V. 170. P. 17–38.
15. Gromet L.P., Dymek R.F., Haskin L.A., Korotev R.L. The "North American Shale Composite": Its Compilation, Major and Trace Element Characteristics // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1984. V. 48. № 12. P. 2469-2482.
16. Gysi A.P., Williams-Jones A.E. The thermodynamic properties of bastnasite-(Ce) and parisite-(Ce) // *Chemical Geology*. 2015. V. 392. P. 87-101.
17. Navrotsky A., Lee W., Mielewczyk-Gryn A., Ushakov S.V., Anderko A., Wu H., Riman R.E. Thermodynamics of solid phases containing rare earth oxides // *J. Chemical Thermodynamics*. 2015. V. 86. P. 126-141.
18. Shand P., Johannesson K.H., Chudaev O., Chudaeva V. *Rare Earth Elements In Groundwater Flow System*. Springer. 2004. P. 161-186.



THERMODYNAMIC ASSESSMENT OF THE PARISITE AND BASTNESITE FORMATION IN SODA LAKES OF EAST TRANSBAIKALIA

Borzenko S.V.

Zamana L.V.

Eremin O.V.

Institute of natural resources, ecology and cryology SB RAS

E-mail: svb_64@mail.ru

E-mail: l.v.zamana@mail.ru

E-mail: yeroleg@yandex.ru

Abstract: Thermodynamic analysis of rare earth elements (REE) behavior dissolved in water was carried out on the basis of the data of chemical composition of soda lakes of South-Eastern Transbaikalia. The calculations of equilibrium was shown that the lake waters are saturated by LREE that leading to the deposition of fluorocarbonates - parisite ($\text{CaCe}_{0.95}\text{La}_{0.6}\text{Nd}_{0.35}\text{Pr}_{0.1}(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$) and bastnasite ($\text{Ce}_{0.5}\text{La}_{0.25}\text{Nd}_{0.2}\text{Pr}_{0.05}\text{CO}_3\text{F}$) and fluocerite (LaF_3). The presented results indicate the possibility of participation of REE in modern lake sedimentogenesis.

Keywords: Soda lakes, rare earth elements, lake sedimentogenesis.

© Коллектив авторов, 2018

НОВЫЙ СПОСОБ РАЗРАБОТКИ НЕОДНОРОДНЫХ ПЛАСТОВ С ЗОНАМИ НИЗКОЙ И ВЫСОКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ

Кязимов Ф.К.

НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, Азербайджан

E-mail: fazil.kazimov@mail.ru

Аннотация: Известно, что с целью увеличения нефтеотдачи месторождений, находящихся на поздней стадии разработки, в качестве искусственного воздействия на пласт широко используется метод заводнения. Однако в процессе применения этого метода вода, закачиваемая в пласт, по причине неоднородности коллекторов, прорываясь, проходит части залежи, обладающие высокой проницаемостью и направляется с высокой скоростью к добывающим скважинам. В результате этого явления, с одной стороны, большая часть нефти, находящаяся в зонах залежи с низкой проницаемостью, не охватывается искусственным воздействием, а с другой стороны происходит значительное обводнение продукции скважин, эксплуатирующихся в высокопроницаемых зонах залежи. Изолирование высокопроницаемых частей неоднородных пластов, затем направление закачиваемой воды к низкопроницаемым зонам для увеличения нефтеотдачи пластов и устранения преждевременного обводнения продукции скважин остаётся одной из самых актуальных проблем нефтедобывающей промышленности. Учитывая это, разрабатывая специальную осадкообразующую композицию, исследованы её основные показатели и изучено влияние на изменение проницаемости пористой среды, насыщенной водами различной минерализацией. Кроме этого, в статье даны результаты экспериментальных исследований по увеличению охвата рабочими агентами низкопроницаемых зон после изоляции высокопроницаемых частей неоднородных пластов осадкообразующей композицией, проводимых с целью обеспечения вытеснения с максимальным вымыванием остаточной нефти.

Ключевые слова: неоднородная пористая среда, обводненной пласт, осадкообразующая композиция, высокопроницаемая зона, низкопроницаемая зона, фактор остаточного сопротивления, остаточная нефть, дизельно-щелочной отход, оторочка, коэффициент вытеснения.

Из нефтяных месторождений Азербайджана добыто более 2 млрд. тон нефти, из которых 1 млрд. тон приходится на долю месторождений, находящихся на суше. Это составляет 40 %-ов всего балансового запаса нефти месторождений суши [1]. Значит, более половины запасов нефти на месторождениях суши пока находится в состоянии не извлеченного запаса. Для извлечения этого запаса нефти используются различные способы воздействия на пласт, одними из которых являются физико-химические. Эти способы основываются на заводнении пластов, т.е. применении различных химических добавок к закачиваемой в пласт воде с целью увеличения нефтеотдачи и осуществляется извлечение остаточной нефти. Однако большинство нефтяных пластов являются неоднородным по проницаемости, поэтому эффективность применения

этого способа не оказывается на ожидаемом уровне. Так, закачиваемый рабочий агент, двигаясь со скоростью через высокопроницаемые части, проходит водонепроницаемую границу и прорывается к добывающим скважинам. Это приводит к преждевременному обводнению добывающих скважин. Именно интенсивное обводнение извлекаемой из добывающих скважин продукции является одним из основных характерных негативных случаев в поздней стадии разработки нефтяных месторождений.

В США по нефтяным месторождениям, находящимся в разработке, обводнение продукции в среднем составляет свыше 90 %-ов, в Российской Федерации - 86 %-ов [2]. В Азербайджане этот показатель по морским месторождениям находится на уровне 75 %-ов, а по месторождениям суши - 95 % [3]. По мировым

месторождениям среднее значение обводненности продукции приблизительно равняется 75 %.

На месторождениях, находящихся в поздней стадии разработки, в большинстве работающих скважин добыча воды увеличивается в соответствии с уменьшением скорости отбора нефти. В скважинах с обводнившейся в высокой степени (до 80 %-ов) продукцией, расходы на извлечение и утилизацию воды, добытой вместе с 1 баррелем нефти, приблизительно составляют 4 доллара США. На подготовку и утилизацию добываемых вместе с нефтью пластовых вод каждый год расходуется более 40 млрд. долларов [3, 4]. Как видно, высокая степень обводнения продукции скважин способствует как возникновению большого объёма дополнительных расходов, так и приводит к ухудшению экологического состояния окружающей среды. А это в свою очередь приводит к не рентабельности скважин и в конечном итоге к остановке их деятельности.

В результате исследований установлено, что преждевременное обводнение извлекаемой из скважин продукции происходит, в основном, вследствие влияния геологических, технических и технологических факторов [5]. Здесь геологические факторы составляют большую часть (приблизительно 50-55 %-ов), из которых наиболее важным является неоднородность продуктивных пластов [6, 7]. В этом случае «основную роль» играет неоднородность по проницаемости. Учитывая это, с целью изоляции высокопроницаемых зон, разработана новая осадкообразующая композиция (ООК) и, используя ее, в лабораторных условиях проводились серийные экспериментальные исследования.

В начале исследовались основные показатели растворов силиката натрия (ГОСТ 13078-81, MS 1334990-02-07) в пресной воде различной концентрации и результаты даны в табл. 1.

Таблица 1.

Параметры растворов различной концентрации силиката натрия в пресной воде

Концентрация, %	Поверхностное натяжение, мН/м	pH
0	20,5	6,86
1	11,3	7,5
3	8,11	8,0
5	1,6	8,46
7	1,01	8,73
10	0,85	8,8

Как видно из таблицы, при 5 %-ной концентрации силиката натрия в пресной воде значение поверхностного натяжения резко уменьшается и при дальнейшем увеличении концентрации темп снижения поверхностного натяжения уменьшается. В результате проводимых исследований установлено, что если на границе «нефт-раствор» значение поверхностного натяжения будет состав-

лять 1-3 мН/м и ниже, то при проведении процесса вытеснения раствором этой концентрации можно получить высокие результаты [8]. Поэтому в последующих исследованиях также использован 5 %-ный раствор силиката натрия в пресной воде.

Добавляя в морскую воду в определённых концентрациях 5 %-ный раствор силиката натрия в пресной воде, исследованы параметры полученных смесей

(в исследованиях в качестве морской воды использована вода Каспийского моря).

С целью ускорения реакции в первом опыте в смесь добавлялось 0,3 %-а этилового спирта (ГОСТ 3639-79), во втором опыте в том же количестве изопропилового спирта (ГОСТ 9805-84), в третьем опыте - одинаковое количество обоих спиртов. Визуальное наблюдение показало, что в третьем случае в результате реакции происходит более быстрое оседание осадка. Это указывает на то, что смесь этилового и изопропилового спиртов создает возможность для протекания более скоростной реакции между ионами Ca^{2+} и Mg^{2+} , входящими в состав морской воды, и силикатом натрия. Учитывая это, исследованы показатели растворов различной концентрации осад-

кообразующей композиции (ООК) в морской воде, состоящие из «пресной воды + 5 %-го силиката натрия + 0,3 % этилового + 0,3 % изопропилового спиртов» и результаты показаны в табл. 2.

Как видно из таблицы, с увеличением концентрации ООК в морской воде жесткость воды уменьшается. А при 5 %-ной концентрации ООК жесткость воды полностью исчезает. Также с увеличением концентрации ООК в морской воде в значении поверхностного натяжения наблюдается снижение, а в значении pH – повышение. Изменение указанных параметров (уменьшение поверхностного натяжения и увеличение показателя pH) резко проявляет себя до 10 %-ной концентрации ООК в морской воде, а в последующих значениях концентрации этот темп снижается.

Таблица 2.

Показатели растворов различной концентрации новой ООК в морской воде

Концентрация, %	Поверхностное натяжение, мН/м	pH	Жесткость, мг-экв/л
1,0	19,7	8,9	11
3,0	16,3	8,95	5
5,0	11,8	9,0	0
7,0	5,7	9,05	0
10,0	2,75	9,2	0
12,0	2,31	9,3	0

С целью исследования влияния образования осадка непосредственно в пористой среде на её проницаемость проводилась серия экспериментальных исследований в следующей последовательности.

В линейной модели пласта длиной 0,8 м и внутренним диаметром 0,04 м при комнатной температуре и в перепаде давления 0,25 атм была создана пористая среда из кварцевого песка. После полного насыщения водой различной минерализации определялась проницаемость пористой среды ($6,08 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$). За-

тем в модель закачивалась ООК в размере 25 %-ов объема пор и после закрытия и выдержки модели пласта в течение определённого периода (приблизительно 6-8 часов), снова определялась проницаемость (пористой среды) по воде. Изменение проницаемости пористой среды в зависимости от минерализации насыщающей модель воды показано в табл. 3. Как видно из таблицы, с увеличением жесткости воды в результате влияния закачиваемой ООК уменьшается проницаемость пористой среды по воде. Причиной этого является увеличение количества образованного осадка

в результате химической реакции между щелочью, входящей в состав ООК, и ионами Ca^{2+} и Mg^{2+} , входящими в состав воды, и еще большее изолирование высокопроницаемых поровых каналов.

С целью исследования влияния ООК на нефтеотдачу слоисто-неоднородного пласта проводились следующие эксперименты.

В линейной модели пласта, геометрические размеры которой показаны выше, первый слой неоднородной пористой среды составлен из кварцевого песка, а второй слой из смеси кварцевого песка и бентонитовой глины, начальная нефтенасыщенность составляла 78 %, а остаточная вода 22 %. После вытеснения нефти водой в модель пласта закачивается ООК в количестве 25 % от объема пор. После закрытия модели и выдержки в течение определенного времени (приблизительно 6-8 часов), снова продолжается закачка воды той же минерализации. Как видно из результатов получен-

ных исследований (табл. 4), с увеличением жесткости воды после закачки ООК в пористой среде увеличивается количество остаточной нефти, вытесняемой водой, а также уменьшается расход рабочего агента на вытеснение остаточной нефти. Основной причиной этого (механизм действия) является то, что силикат натрия, входящий в состав оторочки, созданной из ООК, вступая в реакцию с ионами Ca^{2+} и Mg^{2+} , входящими в состав пластовой или морской воды, образуют не растворимые в воде аморфные осадки. А спирты, находящиеся в смеси ускоряют процесс осаждения осадка (увеличивают скорость реакции). Таким образом, образующийся осадок не может двигаться к добывающим скважинам и, оседая в высокопроницаемых поровых каналах пласта, изолирует эти зоны. В результате закачиваемый вслед за оторочкой ООК рабочий агент, направляясь к низкопроницаемым нефтеносным зонам, вовлекает эти зоны к разработке.

Таблица 3.
Изменение проницаемости пористой среды, насыщенной водами различной минерализации, под влиянием ООК

Воды различной минерализации, мг-экв/л	Проницаемость, 10^{-12} м^2	Фактор остаточного сопротивления
40	3,91	1,55
70	3,17	1,91
100	2,3	2,64
150	1,2	5,07
180	0,4	15,20

Таблица 4.
Влияние изоляции высокопроницаемой части слоисто-неоднородной пористой среды ООК на нефтевытеснение

Воды различной минерализации, мг-экв/л	Количество остаточной нефти, вытесняемой водой после закачки ООК, %	Объем рабочего агента, израсходованного на вытеснение остаточной нефти, в объемах пор
40	9,5	3,0
70	11,7	2,7
100	15,2	2,3
150	19,8	1,75
180	23,6	1,3

Поэтому посредством нагнетательной скважины в пласт последовательно закачивается ООК и минерализованная вода.

Если минерализация воды низкая, то сначала в пласт закачивается морская вода, а затем создаётся оторочка ООК, а созданная оторочка проталкивается в пласт посредством закачанной следом воды.

В процессе вытеснения остаточной нефти играют важную роль уменьшение поверхностного натяжения на границе «нефть-раствор», а также увеличение показателя рН.

Исследования, проведённые с щелочными отходами, являющимися остаточными продуктами нефтеперерабатывающей промышленности, показали, что их добавление к воде в определенном количестве, вместе с уменьшением поверхностного натяжения на границе с нефтью, способствует достаточному улучшению качественных показателей воды [9]. Одним из них является дизельный-щелочной отход – ДЩО (ТŞ Az 3536601191-2003).

Исследование параметров растворов различной концентрации ДЩО (табл. 5) показывает, что раствор с 5 %-ной концентрацией отхода и выше резко понижает значение поверхностного натяжения, при этом показатель рН при тех же концентрациях принимает достаточно высокие значения. И это показывает, что растворы той же концентрации обладают наилучшими свойствами смачивания. С другой стороны, ввиду того, что в 5 %-ном растворе значение поверхностного натяжения находится в интервале 1-3 [8], для экономии реагента можно использовать ту же концентрацию.

Как известно, применение ДЩО, в состав которого входит щелочь NaOH, на месторождениях с нефтями высокой активности даёт наилучшую эффективность [10]. Учитывая это, с целью увеличения эффективности вытеснения остаточной нефти из обводненного пласта с высокоактивной нефтью проводилось следующее экспериментальные исследования.

Таблица 5.

Показатели растворов с различными концентрациями ДЩО в пресной воде

Концентрация, %	Поверхностное натяжение, мН/м	рН
0	20,5	6,89
1,0	13,5	7,3
3,0	9,11	7,9
5,0	2,5	8,9
7,0	1,57	9,0
10,0	0,3	9,2

Как показано выше, сохраняя одинаковыми условия проводимого исследования, в модели вначале создается слоисто-неоднородная обводнённая среда, имеющая остаточную нефть (в этом исследовании использована нефть высокой активности с кислотностью 2 мг КОН/г). После закачки в модель ООК в количестве 25 % объёма пор высокопроницаемого слоя, модель закрывается и

выдерживается в течение определенного периода (приблизительно 6-8 часов). Затем в модель закачивается 5 %-ный раствор ДЩО в пресной воде в количестве 25 %-ов объёма пор низкопроницаемого слоя и посредством закачиваемой следом воды он проталкивается. Результаты полученных исследований показаны в табл. 6.

Таблица 6

Влияние на нефтевытеснение растворов ООК и ДЩО, закачиваемых в слоистую неоднородную пористую среду

Воды с различными минерализациями, мг-экв/л	Количество вытесненной остаточной нефти после закачки рабочих агентов в модель в качестве оторочки, %	Объём рабочего агента, израсходованного на вытеснение остаточной нефти, в объёмах пор
40	12,5	2,75
70	14,7	2,21
100	21,5	1,82
150	25,3	1,4
180	31,7	1,12

Как видно из таблицы, после закачки в модель оторочки рабочих агентов, наряду с увеличением количества вытесняемой остаточной нефти, наблюдается также уменьшение количества рабочего агента, израсходованного на вытеснение остаточной нефти. Это объясняется следующим образом.

Как отмечено выше, образующиеся в результате реакции между закачиваемой в пласт в первой стадии оторочкой ООК и ионами Ca^{2+} и Mg^{2+} , входящими в состав минерализованной воды, аморфные осадки изолируют высокопроницаемый слой пласта. А во второй стадии созданная оторочка из раствора ДЩО проникает в низкопроницаемый слой пласта и способствует лучшему вымыванию остаточной нефти по сравнению с обычной водой, обеспечивая её вытеснение. С другой стороны NaOH , входящий в состав ДЩО, вступает в реакцию с нефтяными кислотами, входящими в состав нефти, образуя при этом мылоподобную эмульсию. В результате этого уменьшается значение поверхностного натяжения на границе нефти и раствора ДЩО, а также в малопроницаемом слое улучшается охват вытеснением остаточной нефти.

Для применения способа в промышленных условиях необходимо провести следующие исследовательские работы и операции:

а) вначале для определения площадей и границ зон различной проницаемости неоднородного пласта по проницаемости, необходимо построить карту равных проницаемостей.

б) затем отобрать пробы пластовой воды из опытного участка и проанализировать состав.

в) если минерализация воды высокая, то сначала в пласт посредством нагнетательной скважины закачивается оторочка ООК, которая проталкивается закачиваемой следом водой.

г) если нефть обводненного пласта высокоактивная, то сначала в пласт закачивается оторочка ООК, а затем оторочка 5 %-го раствора ДЩО в пресной воде. Обе оторочки проталкиваются в пласт посредством закачиваемой воды.

д) если минерализация пластовой воды низкая, то сначала в пласт закачивается высокоминерализованная вода (или морская вода). Затем осуществляется закачка оторочек с последовательностью, показанной в пункте (г) и проводятся операции по проталкиванию обеих оторочек в пласт посредством воды.

Выводы

1. В результате проведённых исследований разработана специальная осадкообразующая композиция (ООК), состоящая из силиката

- натрия, пресной воды и смеси этилового и изопропилового спиртов.
- Установлено, что с увеличением минерализации воды, насыщающей пористую среду, наблюдается уменьшение проницаемости модели пласта в результате воздействия закачиваемой ООК.
 - С увеличением минерализации жидкости (воды), насыщающей слоисто-неоднородную пористую среду, в результате создания оторочки ООК с последующей закачкой воды, увеличивается коэффициент вытеснения остаточной нефти в малопроницаемом слое, а объём рабочего агента, израсходованного на вытеснение, уменьшается.
 - Выявлено, что после обводнения слоисто-неоднородной пористой среды и создания оторочек ООК и ДЩО с последующим нагнетанием воды, значение коэффициента вытеснения остаточной нефти, по отношению к закачке только оторочки ООК, выше на 3-8,1 %.

Литература

- Khoshbakht Yusifzadeh. The current state of oil and gas industry and future perspectives // Azerbaijan oil industry, 2016, № 1, P. 10-15.
- Обводненность нефтяной продукции / eee.gubkin.ru/ LECTURES_VECHERN_files / LECTURE_1_1.ppt.2018.
- Бабаев Р.Дж., Кязимов Ф.К. Экспериментальное исследование ограничения водопритока из пласта в скважину // Азербайджанское нефтяное хозяйство, 2014, № 10, с. 26-29.
- Бейли Б., Кучук Ф., Кристиан Романо, Руджарт Л., Эльфик Д. Диагностика и ограничение водопритоков // Нефтегазовое обозрение. www.slb.ru>user/filesfile/NGO_2001_t61.pdf/
- Аскеров М.С., Ахмедов М.И. Процесс обводнения залежей и методы борьбы с ним / Азербайджанское нефтяное хозяйство, 2018, № 6, с. 26-31.
- Дункан Г., Балковский П. Реализация методов увеличения нефтеотдачи: практика проектирования, заканчивания и эксплуатации скважин // Нефтегазовые технологии, 1996, № 2/3, с. 8-14.
- Салаватов Т.Ш., Сулейманов Б.А., Нурьяев А.С. Селективная изоляция притока жестких пластовых вод в добывающих скважинах // Нефтяное хозяйство, 2000, № 12, с. 81-83.
- Сургучев М.Л. Вторичные и третичные методы увеличения нефтеотдачи пластов. М., «Недра», 1985, с. 156-164.
- Кязимов Ф.К. Исследование физико-химических свойств щелочного отхода, используемого при повышении нефтеотдачи // Бильги. Серия «Физика, математика, науки о Земле». 2005, № 2 (22), с. 113-118.
- Горбунов А.Т., Бученков Л.Н. Щелочное заводнение. М.: «Недра», 1989, 160 с.

References

- Khoshbakht Yusifzadeh. The current state of the oil and gas industry // Azerbaijan oil industry, 2016, No. 1, P. 10-15.
- The water cut of oil products / eee.gubkin.ru/ LECTURES_VECHERN_files / LECTURE_1_1.ppt.2018.
- Babaev R.J., Kyazimov F.K. Experimental study of the restriction of water inflow from the reservoir into the well // Azerbaijan Oil Industry, 2014, No. 10, p. 26-29.
- Bailey B., Kuchuk F., Christian Romano, Rujart L., Elfik D. Diagnostics and restriction of water inflows // Oil and Gas Review. www.slb.ru> user / filesfile / NGO_2001_t61.pdf /
- Askerov M.S., Akhmedov M.I. The process of watering the deposits and methods of dealing with it / Azerbaijan Oil Economy, 2018, No. 6, p. 26-31.
- Duncan G., Balkovsky P. Implementation of enhanced oil recovery methods: the practice of designing, completing and operating wells // Oil and Gas Technologies, 1996, № 2/3, p. 8-14.
- Salavatov T.Sh., Suleymanov B.A., Nuryaev A.S. Selective isolation of inflow of hard reservoir waters in producing wells // Oil industry, 2000, № 12, p. 81-83.

8. Surguchev M.L. Secondary and tertiary methods of enhanced oil recovery. М., "Nedra", 1985, p. 156-164.
9. Kyazimov F.K. Study of the physicochemical properties of alkaline waste used in enhanced oil recovery // Bilgi. Series "Physics, Mathematics, Earth Sciences." 2005, No. 2 (22), p. 113-118.
10. Gorbunov A.T., Buchenkov L.N. Alkaline flooding. М.: Nedra, 1989, 160 p.



NEW METHOD FOR DEVELOPING INHOMOGENEOUS PLASTES WITH LOW AND HIGH PERMEABILITY ZONES

Kyazimov F.K.

NIPI "Neftegas", SOCAR

E-mail: fazil_kazimov@mail.ru

Abstract: It is known that in order to increase the oil recovery of deposits at a late stage of development, the waterflooding method is widely used as an artificial influence on the reservoir. However, in the process of applying this method, the water pumped into the reservoir, due to heterogeneity of the reservoirs, breaks through, passes parts of the reservoir that have high permeability and is sent at high speed to production wells. As a result of this phenomenon, on the one hand, most of the oil in the low-permeability reservoir zones is not covered by artificial impact, and on the other hand, there is a significant watering of the production of wells operating in high-permeability zones of the deposit. Isolation of highly permeable parts of heterogeneous layers, then the direction of injected water to low permeability zones to increase oil recovery of reservoirs and eliminate premature watering of well production remains one of the most pressing problems of the oil industry. Taking this into account, developing a special sediment-forming composition, we studied its main indicators and studied the effect on the permeability change of a porous medium saturated with waters of different mineralization. In addition, the article gives the results of experimental studies to increase the coverage of working areas of low permeability zones after the isolation of high permeability parts of heterogeneous strata by sediment-forming composition, carried out with the aim of ensuring the displacement with the maximum leaching of residual oil.

Keywords: Heterogeneous porous medium, water-saturated formation, sediment-forming composition, high permeability zone, low-permeability zone, residual resistance factor, residual oil, diesel-alkaline waste, rim, displacement coefficient.

© Кязимов Ф.К., 2018

АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ЗАЛЕЖЕЙ ЛЕТУЧИХ НЕФТЕЙ И ГАЗОКОНДЕНСАТА

Джамалбеков М.А.	Ализаде Н.А.	Агазаде О.Д.
НИПИ «Нефтегаз», SOCAR. Азербайджан	Азербайджанское Высшее Военное Училище им. Гейдара Алиева. Азербайджан	НИПИ «Нефтегаз», SOCAR. Азербайджан

E-mail: mehammed.camalbeyov@socar.az

Аннотация. Рассматривается задача математического моделирования фильтрации летучих нефтей и газоконденсатных смесей к скважине, дренирующей деформируемый пласт. Решение получено с применением метода смен осредненных состояний введением фиктивного давления в виде функции Христиановича. В отличие от традиционного подхода, переход от фиктивного перепада давлений к истинному, осуществляется логарифмической аппроксимацией. Это дал возможность уменьшить число неизвестных коэффициентов и требует меньше промысловых данных. На основе предложенного алгоритма разработано программное обеспечение, с помощью которого проведены компьютерные исследования. Установлено, что разработанный алгоритм имеет удовлетворительную точность при прогнозировании показателей разработки залежей летучих нефтей и газоконденсата, представленных деформируемыми коллекторами.

Ключевые слова: Легкие нефти, газоконденсатные смеси, фильтрация, деформируемость, аппроксимация, бинарная модель.

Введение

Известно, что в рамках бинарной модели сложные углеводородные системы, такие как газоконденсатные смеси и летучие нефти, представляются состоящими из двух псевдо-компонентов и двух фаз, между которыми происходит массоперенос [1]. При этом, движение псевдо-компонентов в обеих фазах описываются нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных, аналитическое решение которых требуют специального подхода и некоторых допущений. При линеаризации уравнения движения широко применяется метод осреднения. Чтобы привести уравнение к классическому уравнению теплопроводности вводится понятие фиктивного напора в виде функции Христиановича

$H = \int \varphi(p, \rho) dp + const.$ Полученное линейное уравнение легко решается относительно H . В дальнейшем потребуется обратный переход к истинному давлению. Для этой цели широко применяется аппроксимация подынтегральной функции полиномом второго порядка вида

$\varphi = Ap^2 + Bp + C$, где коэффициенты A, B, C определяются по граничным условиям [1]. Отметим, что для газированной жидкости аналогичная задача решена с применением степенной функцией вида $\varphi = Dp^\varepsilon$ [4]. При этом коэффициенты D и ε определяются по граничным условиям. В данном же исследовании функция φ представляется логарифмической функцией, которая имеет преимущество меньшего количества коэффициентов по сравнению квадратичным полиномом. Логарифмическая функция более предпочтительна по точности в сравнении со степенной функцией.

1. Моделирование притока к скважине

Используя результаты работы [2], уравнения, описывающие радиальное течение легких нефтей в области дренирования скважины выпишем в следующем формально упрощенном виде:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \varphi(p, \rho) \frac{\partial p}{\partial r} \right] = - \frac{\partial}{\partial t} [\varphi(p, \rho)] \quad (1.1)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \phi_g(p, \rho) \frac{\partial p}{\partial r} \right] = - \frac{\partial}{\partial t} [\phi_g(p, \rho)] \quad (1.2)$$

где p – давление; ρ – насыщенность пор нефтью; r, t – радиальная координата и время, соответственно;

Уравнение (1.1) описывает движение жидкой, а (1.2) – движение газовой фазы рассматриваемой углеводородной системы. Для определения дебита скважины по нефти в режиме истощения требуется решение уравнения (1.1) при следующих краевых условиях:

$$\begin{aligned} r = R_k, \quad p = p_k(t); \quad r = r_s, \\ p = p_s(t) \text{ и } t = 0, \quad p = p_0. \end{aligned} \quad (1.3)$$

При этом, для линеаризации уравнения будем применять метод осреднения. Вводим функцию H , аналогичную функции Христиановича

$$H = \int \varphi(p, \rho) dp + const. \quad (1.4)$$

Усредняя правую часть уравнения по r и вводя обозначение $\Phi(t)$ с учетом (1.4) перепишем (1.1) в следующем виде:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ r \frac{\partial H}{\partial r} \right\} = -\Phi(t). \quad (1.5)$$

Уравнение (1.5) легко решается относительно фиктивного напора H при следующих граничных условиях, соответствующих режиму истощения:

$$r = R_k, \quad H = H_k(t); \quad r = r_s; \quad H = H_s(t). \quad (1.6)$$

При этом неизвестная функция $\Phi(t)$ определяется с помощью дополнительного граничного условия $\left. \frac{\partial H}{\partial r} \right|_{r=R_k} = 0$. Та-

ким образом, задача (1.1)-(1.3) приводится к эквивалентной задаче (1.5), (1.6), из решения которого можно получить выражение для градиента H на $r = r_s$ в следующем виде:

$$\frac{\partial H}{\partial r} = \frac{H_k - H_s}{r_s \left[\ln \frac{R_k}{r_s} - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{r_s^2}{R_k^2} \right) \right]}.$$

Учитывая, что $r_s^2 \ll R_k^2$ то напишем:

$$\frac{\partial H}{\partial r} = \frac{H_k - H_s}{r_s \left[\ln \frac{R_k}{r_s} - \frac{1}{2} \right]}. \quad (1.7)$$

По закону Дарси дебит скважины определяется выражением:

$$q_n = 2\pi r_s h \left. \frac{\partial H}{\partial r} \right|_{r=r_s}. \quad (1.8)$$

Учитывая (1.7) в (1.8) получим выражение для определения мгновенного значения дебита скважины по нефти в следующем виде:

$$q_n = \frac{2\pi h (H_k - H_s)}{\ln \frac{R_k}{r_s} - \frac{1}{2}}, \quad (1.9)$$

где R_k, r_s – радиусы контура питания и ствола скважины, h – толщина продуктивного пласта.

Для практического использования (1.9) необходим переход от фиктивной депрессии ($H_k - H_s$) к истинной депрессии ($p_k - p_s$). Для этой цели была исследована подынтегральная функция φ , которая для летучей нефти имеет вид:

$$\varphi = \left[\frac{f_n(\rho)}{\mu_n(\rho)a(\rho)} + \frac{f_g(\rho)p\beta c(\rho)}{\mu_g(\rho)z(\rho)p_{at}} \right] k(p),$$

где z, β – коэффициенты сверхсжимаемости и температурной поправки для газовой фазы; c – содержание потенциально жидких углеводородов в газовой фазе; a – объемный коэффициент нефти; S – количество растворенного

газа в нефти; μ_n, μ_g - динамические вязкости жидкой и газовой фаз; c - содержание потенциально жидких углеводородов в газовой фазе в пластовых условиях; p_{at} - атмосферное давление; k - абсолютная проницаемость пласта.

Установлено, что для аппроксимации функции φ можно использовать логарифмическую функцию в виде:

$$\varphi = a \ln(p) - b. \quad (1.10)$$

Предложенная аппроксимация отличается по сравнению с традиционной квадратичной полиномиальной аппроксимации, с применением которой были

$$H_k - H_s = a[p_k \ln p_k - p_k - p_s \ln p_s + p_s] - b(p_k - p_s), \quad (1.11)$$

где соотношения для вычисления коэффициентов a и b получены из (1.4) и (1.10) с учетом соответствующих условий в следующем виде:

$$a = \frac{\varphi_k - \varphi_s}{\ln \frac{p_k}{p_s}}, \quad b = \frac{\varphi_k - \varphi_s}{\ln \frac{p_k}{p_s}} \ln p_k - \varphi_k. \quad (1.12)$$

Соответственно φ_k, φ_s являются значениями φ при контурном и забойном давлениях p_k и p_s .

Для оценки погрешности принятой аппроксимации были сопоставлены значения $(H_k - H_s)$, вычисленные по (1.11) и методом трапеций по формуле

$$q_n = \frac{2\pi h \{a[p_k \ln p_k - p_k - p_s \ln p_s + p_s] - b(p_k - p_s)\}}{\ln \frac{R_k}{r_s} - \frac{1}{2}}, \quad (1.13)$$

где коэффициенты a и b определяются из (1.12).

решены многочисленные задачи [1, 2 и др.], меньшим числом неизвестных коэффициентов. Для оценки точности принятой аппроксимации выполнены специальные расчеты. При вычислении использованы термодинамические данные продукции месторождения «Русский Хутор» при начальном пластовом давлении 34.0 МПа. При этом, рассмотрено следующее выражение для определения $(H_k - H_s)$, полученное интегрированием (1.4) в пределах $[p_s, p_k]$ с учетом (1.10):

$$H_k - H_s = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [(p_{i+1} - p_i)(\varphi_{i+1} + \varphi_i)].$$

Сравнение показало, что принятая аппроксимация хорошо описывает зависимость $\varphi(p)$ при широком пределе изменения депрессии и пластового давления. Максимальное отклонение сравниваемых значений $H_k - H_s$ наблюдалось при наибольшем перепаде давления. При депрессии 6.0 МПа отклонение составляет 0.5% и не превышает 1.4%, что соответствует области начального (34.0 МПа) и конечного (7.5 МПа) значений пластового давления.

Так, для вычисления значения мгновенного дебита скважины переписем (1.9) с учетом (1.11) в следующем окончательном виде:

Формула (1.13) позволяет вычислить мгновенный дебит нефти при конкретном значении пластового давления p_k , и соответствующей насыщенности ρ . Для

моделирования процесса фильтрации в пласте необходимо дополнить полученное выше решение с уравнениями, описывающие изменение пластового давления и насыщенности во времени. Ниже предлагается алгоритм для прогнозирования пластового давления и насыщенности пор жидкой фазой.

2. Алгоритм прогнозирования показателей разработки

Для создания модели разработки необходимо иметь алгоритм для прогнозирования значений, непрерывно снижающегося при истощении пластового давления и величины насыщенности ρ . С этой целью будем использовать уравнения материальных балансов нефти и газа:

$$q_n = -\frac{d}{dt} \left[\frac{\rho}{a(p)} + (1-\rho) \frac{p\beta c(p)}{z(p)p_{at}} \right] \Omega, \quad (2.1)$$

$$q_g = -\frac{d}{dt} \left[\frac{(1-\rho)p\beta}{z(p)p_{at}} [1-c(p)\bar{\gamma}] + \frac{\rho S(p)}{a(p)} \right] \Omega, \quad (2.2)$$

где Ω - объем пор, насыщенных газом и нефтью; q_g - дебит газа.

Из (2.1) и (2.2) получим следующие дифференциальные уравнения:

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{\frac{q_n}{\Omega_0 \Omega} (\alpha_4 + G\alpha_2) - (\alpha_2\alpha_3 + \alpha_1\alpha_4) \frac{1}{\Omega} \frac{d\bar{\Omega}}{dt}}{(\alpha_5 + \alpha_6)\alpha_4 + (\alpha_7 + \alpha_8)\alpha_2}, \quad (2.3)$$

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{\frac{q_n G}{\Omega_0 \Omega} + (\alpha_7 + \alpha_8) \frac{dp}{dt} + \alpha_3 \frac{1}{\Omega} \frac{d\bar{\Omega}}{dt}}{\alpha_4}, \quad (2.4)$$

где дебит нефти q_n определяется с помощью (1.13); общий объем пор $\Omega(p,t) = \pi(R_k^2 - r_c^2)hm(p)$; $\bar{\Omega} = \frac{\Omega}{\Omega_0}$;

$$\alpha_1 = (1-\rho) \frac{p\beta c(p)}{z(p)p_{at}} - \rho \frac{1}{a(p)}, \quad \alpha_2 = \frac{p\beta c(p)}{z(p)p_{at}} - \frac{1}{a(p)},$$

$$\alpha_3 = \rho \frac{S(p)}{a(p)} - (1-\rho) \frac{p\beta}{z(p)p_{at}} [1-c(p)\bar{\gamma}(p)],$$

$$\alpha_4 = \frac{S(p)}{a(p)} - \frac{p\beta}{z(p)p_{at}} [1-c(p)\bar{\gamma}(p)],$$

$$\alpha_5 = (1-\rho) \left\{ \frac{p\beta c(p)}{z(p)p_{at}} \right\}', \quad \alpha_6 = \rho \left[\frac{1}{a(p)} \right]',$$

$$\alpha_7 = \rho \left[\frac{S(p)}{a(p)} \right]', \quad \alpha_8 = (1-\rho) \left[\frac{p\beta}{z(p)p_{at}} [1-c(p)\bar{\gamma}(p)] \right]';$$

« ' » - означает производную по p ; $\bar{\mu}(p)$ - отношение вязкостей жидкой и газовой фаз; $\psi(p)$ - отношение относительных фазовых проницаемостей газовой и жидкой фаз; G - газовый фактор, который определяется следующим выражением:

$$G = \frac{\frac{\bar{\mu}(p)a(p)p\beta}{z(p)p_{at}} [1-c(p)\bar{\gamma}(p)] + \frac{S(p)}{\psi(p)}}{\frac{1}{\psi(p)} + \frac{\bar{\mu}(p)a(p)p\beta c(p)}{z(p)p_{at}}}. \quad (2.5)$$

В уравнениях (2.3) и (2.4) $\bar{\Omega}$, а следовательно, и $\frac{d\bar{\Omega}}{dt}$, для упругих пластов определяется по следующему закону [3]:

$$\bar{\Omega} = \frac{\Omega}{\Omega_0} = \exp[a_m(p - p_0)]$$

и

$$\frac{d\bar{\Omega}}{dt} = a_m \exp[a_m(p - p_0)] \frac{dp}{dt} \quad (2.6)$$

С учетом (2.6) уравнения (2.3) и (2.4) перепишем в следующем виде:

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{\frac{q_n}{\Omega_0 \Omega} (\alpha_4 + G\alpha_2)}{(\alpha_5 + \alpha_6)\alpha_4 + (\alpha_7 + \alpha_8)\alpha_2 - (\alpha_2\alpha_3 + \alpha_1\alpha_4) \frac{a_m}{\Omega} e^{a_m(p-p_0)}} \quad (2.7)$$

$$\frac{dp}{dt} = - \frac{q_n G}{\Omega_0 \Omega} + (\alpha_7 + \alpha_8) \frac{dp}{dt} + \alpha_3 \frac{a_m}{\Omega} e^{[a_m(p-p_0)]} \frac{dp}{dt} \quad (2.8)$$

Система обыкновенных дифференциальных уравнений (2.7)-(2.8) можно решать методом Рунге-Кутты с применением метода смен стационарных состояний. В пределах каждого временного отрезка все коэффициенты являются постоянными. Система (2.7)-(2.8) позволяет определять среднепластовое давление и нефтенасыщенность пласта в любой момент времени при разработке залежи летучей нефти, представленной упругими коллекторами.

3. Исследование процесса разработки при логарифмической аппроксимации

Теперь используя выше предложенной расчетной схемы можно исследовать надежность предложенной аппроксимации при вычислении конечных показателей разработки. Для этого выполнен ряд расчетов. При этом процесс разработки был рассмотрен при депрессиях 6.0, 4.0 и 2.0 МПа. Используются следующие исходные данные:

- Начальное пластовое давление $p_0 = 34.0$ МПа;
- Толщина пласта $h = 20$ м.
- Радиус контура питания скважины $R_k = 1000$ м;
- Радиус скважины $r_s = 0.10$ м;
- Коэффициент начальной абсолютной проницаемости $k_0 = 0.1 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$;
- Начальная пористость пласта $m_0 = 0.2$;

Результаты расчетов представлены на рис. 1, где сопоставлены динамика коэффициента нефтеотдачи в слу-

чаях, когда интеграл раскрывается численно (пунктирная линия) и при логарифмической аппроксимации (сплошная линия). Как видно кривые почти совпадают. Сравнение величин коэффициентов конечной нефтеотдачи в рассматриваемых вариантах показало, что конечная нефтеотдача отличается от «эталонного» лишь на 0.5%. Отметим, что с уменьшением депрессии погрешности уменьшаются. Например, при депрессии 2.0 МПа погрешность по коэффициенту нефтеотдачи не превышала 0.1%.

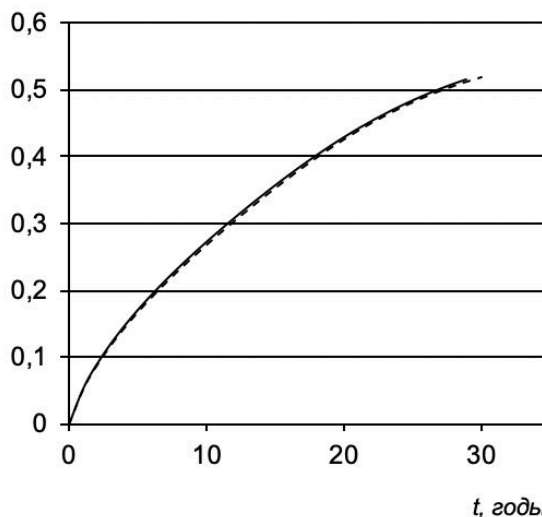


Рис. 1. Кривые изменения во времени коэффициента нефтеотдачи при численном интегрировании функции φ и логарифмической аппроксимации: ----- - численное интегрирование, _____ - логарифмическая аппроксимация.

Отметим, что при необходимости точность предложенной аппроксимации можно повысить. Для этого отрезок интегрирования $[p_s, p_k]$ разделим на две части $[p_s, p_{sr}]$ и $[p_k, p_{sr}]$. При этом, для $H_k - H_s$ напишем:

$$H_k - H_s = \int_{p_s}^{p_k} \varphi(p, \rho) dp = \int_{p_s}^{p_{sr}} \varphi(p, \rho) dp + \int_{p_{sr}}^{p_k} \varphi(p, \rho) dp = a [p_{sr} \ln p_{sr} - p_{sr} - p_s \ln p_s + p_s] - b(p_{sr} - p_s) + a_1 [p_k \ln p_k - p_k - p_{sr} \ln p_{sr} + p_{sr}] - b_1(p_k - p_{sr})$$

где значения коэффициентов a, b, a_1, b_1 вычисляются по следующим соотношениям:

$$a = \frac{\varphi_{sr} - \varphi_s}{\ln \frac{p_{sr}}{p_s}}, \quad b = \frac{\varphi_{sr} - \varphi_s}{\ln \frac{p_{sr}}{p_s}} \ln p_{sr} - \varphi_{sr},$$

$$a_1 = \frac{\varphi_k - \varphi_{sr}}{\ln \frac{p_k}{p_{sr}}}, \quad b_1 = \frac{\varphi_k - \varphi_{sr}}{\ln \frac{p_k}{p_{sr}}} \ln p_k - \varphi_k,$$

где $\varphi_{sr} = \varphi(p_{sr}), p_{sr} = \frac{p_s + p_k}{2}$.

Изложенное выше решение можно применить и для случая залежей нелетучих нефтей (модель газированной нефти), т.е. когда $c = 0$. В этом случае параметры $\alpha_1 - \alpha_8$ принимают следующий вид:

$$\alpha_1 = -\rho \frac{1}{a(p)}, \quad \alpha_2 = -\frac{1}{a(p)},$$

$$\alpha_3 = \rho \frac{S(p)}{a(p)} - (1 - \rho) \frac{p\beta}{z(p)p_{at}},$$

$$\alpha_4 = \frac{S(p)}{a(p)} - \frac{p\beta}{z(p)p_{at}}, \quad \alpha_5 = 0, \quad \alpha_6 = \rho \left[\frac{1}{a(p)} \right]',$$

$$\alpha_7 = \rho \left[\frac{S(p)}{a(p)} \right]', \quad \alpha_8 = (1 - \rho) \left[\frac{p\beta}{z(p)p_{at}} \right]'$$

А газовый фактор G определяется следующим выражением:

$$G = \frac{\frac{\bar{\mu}(p)a(p)p\beta}{z(p)p_{at}} + \frac{S(p)}{\psi(\rho)}}{\frac{1}{\psi(\rho)}}$$

Вышеизложенный подход также можно применять в случае фильтрации газоконденсатной системы. При этом следует учитывать выражение подынтегральной функции, соответствующее газоконденсатной смеси [1]:

$$\varphi = \left[\frac{f_g(\rho_k)p\beta[1 - c(p)\gamma(p)]}{\mu_g(p)Z(p)p_{at}} + \frac{f_k(\rho_k)S(p)}{\mu_k(p)a(p)} \right] k(p),$$

где $f_k(\rho), f_g(\rho)$ - относительные фазовые проницаемости конденсата и газа; ρ_k - насыщенность пор жидким конденсатом; a - объемный коэффициент конденсата; μ_k, μ_g - динамические вязкости конденсата и газа, а остальные обозначения такие же, как в случае фильтрации летучих нефтей.

В случае фильтрации газоконденсатных смесей дифференциальные уравнения для определения средне пластового давления и конденсатонасыщенности получены из уравнений материального баланса газа и конденсата в следующем виде:

$$\frac{dp}{dt} = - \frac{\frac{q_g}{\Omega_0 \Omega} (\alpha_4 + \frac{\alpha_2}{G}) - (\alpha_2 \alpha_3 + \alpha_1 \alpha_4) \frac{1}{\Omega} \frac{d\bar{\Omega}}{dt}}{(\alpha_5 + \alpha_6) \alpha_4 + (\alpha_7 + \alpha_8) \alpha_2}, \quad (2.9)$$

$$\frac{d\rho_k}{dt} = - \frac{\frac{q_g}{\Omega_0 \bar{\Omega} G} + (\alpha_7 + \alpha_8) \frac{dp}{dt} + \alpha_3 \frac{1}{\bar{\Omega}} \frac{d\bar{\Omega}}{dt}}{\alpha_4}, \quad (2.10)$$

где $G = \frac{\frac{\mu(p)a(p)p\beta}{z(p)p_{at}} [1 - c(p)\bar{\gamma}(p)] + \frac{S(p)}{\psi(\rho_k)}}{\frac{1}{\psi(\rho_k)} + \frac{\mu(p)a(p)p\beta c(p)}{z(p)p_{at}}}$

- газоконденсатный фактор, $\frac{1}{\psi(\rho_k)} = \frac{f_g}{f_k}$;

$\bar{\mu}(p) = \frac{\mu_k}{\mu_g}$; $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_8$ имеют вид:

$$\alpha_1 = (1 - \rho_k) \frac{p\beta}{z(p)p_{at}} [1 - c(p)\bar{\gamma}(p)] - \rho_k \frac{S(p)}{a(p)}$$

$$\alpha_2 = \frac{p\beta}{z(p)p_{at}} [1 - c(p)\bar{\gamma}(p)] - \frac{S(p)}{a(p)},$$

$$\alpha_3 = \rho_k \frac{1}{a(p)} - (1 - \rho_k) \frac{p\beta c(p)}{z(p)p_{at}},$$

$$\alpha_4 = \frac{1}{a(p)} - \frac{p\beta c(p)}{z(p)p_{at}},$$

$$\alpha_5 = (1 - \rho_k) \left\{ \frac{p\beta}{z(p)p_{at}} [1 - c(p)\bar{\gamma}(p)] \right\},$$

$$\alpha_6 = \rho_k \left[\frac{S(p)}{a(p)} \right], \quad \alpha_7 = \rho_k \left[\frac{1}{a(p)} \right],$$

$$\alpha_8 = (1 - \rho_k) \left[\frac{p\beta c(p)}{z(p)p_{at}} \right];$$

Для оценки точности аппроксимации (1.10) при фильтрации газоконденсатных смесей были проведены модельные расчеты с использованием уравнений (2.6), (2.9) и (2.10) с учетом (1.13) и (1.12). При этом были использованы данные газоконденсатной смеси X горизонта месторождения «Булла-дениз» с начальным пластовым давлением 40.0 МПа. Результаты компьютерных вычислений представлены на рис. 2 и рис. 3.

На рис. 2 иллюстрируются кривые изменения перепадов фиктивного

напора $H_k - H_s$, полученные численным методом (пунктирная линия) и путем аппроксимации (сплошная линия) в процессе истощения газоконденсатной залежи при депрессии 4.0 МПа, при котором, пластовое давление снизилось до 5.0 МПа.

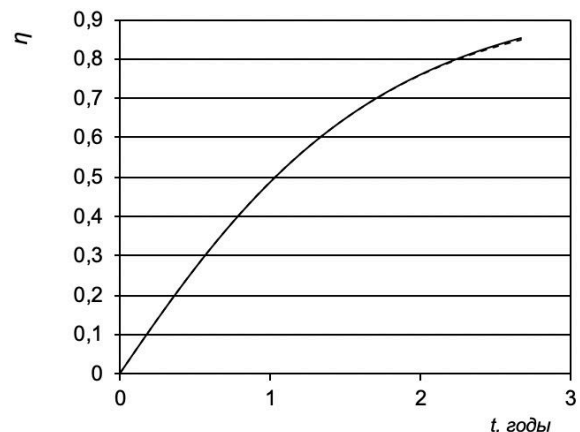


Рис. 2. Кривые изменения во времени коэффициента газоотдачи при численном интегрировании функции и логарифмической аппроксимации: ----- - численное интегрирование, _____ - логарифмическая аппроксимация.

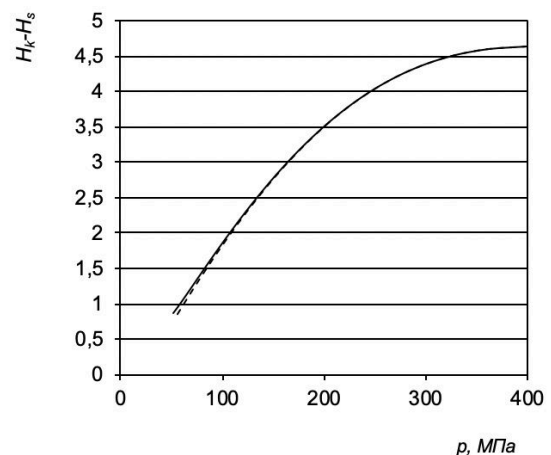


Рис. 3. Кривые изменения от пластового давления при численном интегрировании функции и логарифмической аппроксимации: ----- - численное интегрирование, _____ - логарифмическая аппроксимация.

Сравнение этих кривых показало, что разница между значениями кривых составляют в среднем 0.5%. При падении пластового давления ниже 10.0 МПа отклонение начинает расти и достигает 8% при давлении 5.0 МПа. На рис. 3 представлены кривые динамики роста коэффициента газоотдачи по рассматриваемым вариантам. Как видно, влияние погрешности определения $H_k - H_s$ к коэффициенту газоотдачи оказывается незначительным. При этом разница между значениями конечных коэффициентов газоотдачи составляет лишь 0.5%, что для практики является допустимым.

Вышеизложенные результаты подтверждают правомерность применения логарифмической функции (1.10) для аппроксимации подынтегральной функции Φ .

Литература

1. Абасов М.Т., Оруджалиев Ф.Г. Газогидродинамика и разработка

газоконденсатных месторождений. – М.: Недра, 1989. 262 с.

2. Абасов М.Т., Дадашзаде Х.И., Джамалбеков М.А. Фильтрация летучих нефтей в деформируемых коллекторах // Известия АН Азерб. ССР, сер. Науки о Земле, № 5, 1990.
3. Горбунов А.Т. Разработка аномальных нефтяных месторождений. – М.: Недра, 1981. – 237 с.
4. Пыхачев Г.Б., Исаев Р.Г. Подземная гидравлика. М., «Недра», 1973, с. 360.

References

1. Abasov M.T., Orudzhaliev F.G. Gas-hydrodynamics and development of gas condensate fields. - M.: Nedra, 1989. 262 p.
2. Abasov M.T., Dadashzade Kh.I., Jamalbekov M.A. Filtering of volatile oils in deformable reservoirs // News of the Academy of Sciences of Azerbaijan. Azerb. SSR, ser. Earth Sciences, No. 5, 1990.
3. Gorbunov A.T. Development of anomalous oil fields. - M.: Nedra, 1981. - 237 p.
4. Pykhachev GB, Isaev R.G. Underground hydraulics. M., "Nedra", 1973, p. 360.



ALGORITHM FOR CALCULATING THE INDICES OF THE DEVELOPMENT PROCESS OF DEPOSITS OF VOLATILE OILS AND GAS-CONDENSATE

<i>Jamalbayov M.A.</i>	<i>Alizadeh N.A.</i>	<i>Aghazadeh O.D.</i>
SOCAR Oil Gas Scientific Research Project Institute, Azerbaijan	Azerbaijan Higher Military School named after Heydar Aliyev, Azerbaijan	SOCAR Oil Gas Scientific Research Project Institute, Azerbaijan

E-mail: mehemmed.camalbeyov@socar.az

Abstract: The problem of mathematical modeling of the filtration of volatile oils and gas-condensate mixtures to a well draining a compressible formation is considered. The solution was obtained using the method of changing the averaged states by introducing a fictitious pressure as a function of Khristionovich. In this case, the transition from a fictitious pressure drop to a true one is accomplished by a logarithmic approximation. This provided to reduce the number of unknown coefficients and requires less production data. Based on the proposed algorithm, a computer program was developed. By dint of the program was investigated the considered process. It is established that the developed algorithm has satisfactory accuracy in predicting the development indices of the deposits of volatile oils and gas-condensate, represented by compressible reservoirs.

Keywords: volatile oils, gas-condensate mixture, deformation, approximation, binary model.

© Коллектив авторов, 2018

SOIL EROSION ASSESSMENT USING GIS AND REMOTE SENSING, A CASE STUDY IN HUONG HOA DISTRICT, QUANG TRI PROVINCE, VIETNAM

<i>Le Hung Trinh</i>	<i>Thu Phuong Bui</i>
Le Quy Don Technical University, Hanoi, Vietnam	Hanoi University of Natural Resources and Environment, Hanoi, Vietnam
E-mail: trinhlehung125@gmail.com	Email: btp010983@gmail.com

Abstract: Erosion is one of the land degradation causes, having seriously effect on the living environment and manufacturing activities, especially in the upland and agricultural areas. Many studies in the world show that, remote sensing and geographic information system (GIS) techniques can be used effectively for monitoring and assessing soil erosion. This paper presents the results for soil erosion mapping using the Universal Soil Loss Equation (USLE) in Huong Hoa district, Quang Tri province (North Central Vietnam). In this study, rainfall erosivity (R), slope length-steepness (LS), soil erodibility (K), cover management (C) and conservation practice (P) were used to generate soil erosion map. Cover management factor was extracted from Landsat multispectral image in January 29, 2017 based on Normalized Different Vegetation Index (NDVI). The results obtained show that, the area of high and extremely strong erosion occupies a significant area of Huong Hoa district, corresponding to 8.96% and 48.91% total of study area.

Keywords: Soil erosion, remote sensing, GIS, USLE, land cover.

1. INTRODUCTION

Soil is a precious natural resource, special and indispensable material of production sector. In recent years, due to impact of human activities and climate change, the vegetation is rapidly declining and soil loss due to erosion is a global problem, especially affecting natural resources and agricultural production (Praveen, Kumar, 2012). In the upland area, soil erosion is one of most dangerous hazards (Ashiagbor et al., 2013).

Vietnam has about 25 million hectares of sloping land with soil erosion and runoff risk are very high (about 10 tons/ha/yeas) (Le et al., 2011; Trinh et al., 2015). According to the systematic observation from 1960 to now, about 10 – 20% of the territory affected by soil erosion. Every year, the hill and mountain areas of Vietnam lost a huge land mass, disrupt the soil surface, reduce soil fertility and direct influence on vegetation growth. Besides, depending on the characteristic of landform, eroded materials have been lost by erosion, may be then transported along the river, generate suspended solids and have affected the water and sediment quality.

Remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) techniques with many advantages over traditional method has been effectively for monitoring and mapping soil erosion. To control and mitigate the risk of erosion, researchers in various countries have built multiple models, including qualitative and quantitative methods. Many models for erosion calculation have been developed and applied such as USLE (Wischmeier, 1978; Stone, Hilborn, 2012), MUSLE (William, 1975), ANSWERS (Beasley et al., 1980), SLEMSA (Elwell, Stoc king, 1981), SOLOSS (Rosewell, 1993), MMMF (Morgan, Duzant, 2008)...In general, these soil erosion models were developed based on factors which affect the soil erosion such as rainfall intensity, land slope land use and the type and density of the land vegetation cover (Vezina et al., 2006).

Studies for evaluating and predicting soil erosion in Vietnam using remote sensing and GIS techniques were recorded in the last decades of the 20th century. Remote sensing and GIS data were initially used in the study of the relationship between topography and soil erosion in Vietnam (Le et al., 1997). USLE model was used in studies (Nguyen, 1996; Tran et al., 2011; Vu, Trinh,

2013; Pham et al., 2018) to estimate the amount of soil lost annually due to erosion and evaluate the relationship between vegetation cover and soil erosion. These studies have demonstrated that the vegetation cover change was closely related to the increased risk of soil erosion, especially for sloping lands. In general, USLE model has been proven effective for conditions in Vietnam and incorporated into Vietnam national standards TCVN 5299:2009 “Soil quality – Method for determination of soil erosion by rain” (Ministry of Science and Technology of Vietnam, 2009).

The main objective of the present research is to map soil erosion susceptibility in Huong Hoa district, Quang Tri province using GIS and remote sensing techniques based on the USLE model.

2. MATERIALS AND METHODOLOGY

Study area

The Huong Hoa district is located in the Western of Quang Tri province in the North central region of Vietnam. The area is bounded between latitude 16°24’34.0”N to 16°59’54.0”N and longitude 106°30’8.3”E to 106°49’40.0”E. The district covers an area of 1151 km² and had a population of 82000 people. Huong Hoa district has mainly sloping land sloping land that is susceptible to erosion and washed. In recent years, the backward farming practices and improper use of fertilizers have reduced the quality of agricultural land and land use efficiency.



Fig. 1. The study area in Huong Hoa district, Quang Tri province

Materials

In this study, multispectral clouds - free LANDSAT image (path 125, row 48) with a spatial resolution of 30x30 meters was acquired from January 29, 2017 (Figure 2). The LANDSAT data was the standard ter-

rain correction products (L1T), downloaded from United States Geological Survey (USGS - <http://glovis.usgs.gov>) web-site.

The study also used the annual average rainfall data, topographic map and soil map (scale 1:50 000) to calculate the R, K, LS and P factors.

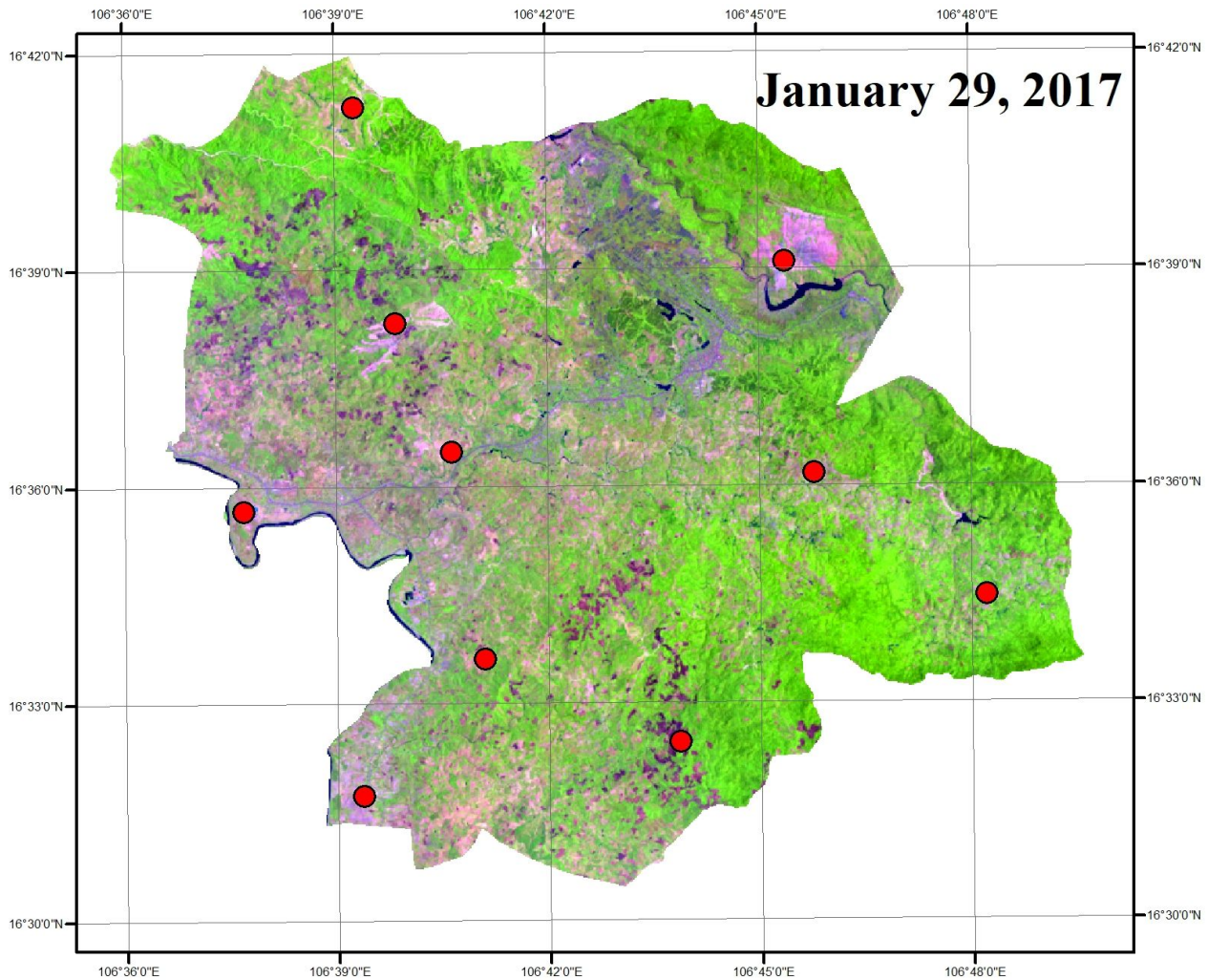


Fig. 2. LANDSAT multispectral images in study area (red circle – erosion sites from field surveying)

Methodology

Within the scope of this study, the authors applied the USLE model (Universal Soil Loss Equation). This model was proposed by Wischmeier in 1960 and was developed with the assistance of Smith in 1978 (Wischmeier, Smith, 1978). The USLE is composed of six factors to predict the long-term average annual soil loss (A). The

equation includes the [rainfall](#) erosivity factor (R), the soil [erodibility](#) factor (K), the [topographic](#) factors (L and S) and the cropping management factors (C and P) (Wischmeier, Smith, 1978).

The USLE equation has the form:

$$A = R * K * LS * C * P, \quad (1)$$

where: A – annual soil loss rate (ton/ha/yr); R – rainfall factor (MJ.mm/ha.yr); K – soil

erodibility factor (ton.ha.h/MJ.ha.mm); *LS* – slope steepness and slope length factor (dimensionless); *C* – cover factor (dimensionless); *P* – conservation practices (dimensionless).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Slope steepness and slope length factor (LS)

The LS factor dataset was calculated using high resolution digital elevation model (DEM), which extracted from topographic map according to the following formula (Wischmeier, Smith, 1978):

$$LS = \left(\frac{a}{22.13}\right)^m [0.065 + 0.0456\alpha + 0.006541\alpha^2] \quad (2)$$

where: *a* – slope length (m); α – slope (%); *m* – the value depends on the slope (*m* = 0.5

if the slope is between 3.5% and 4.5%; *m* = 0.3 if the slope is between 1% and 3%, *m* = 0.2 if the slope is less than 1%).

The LS factor map of Huong Hoa district, Quang Tri province is presented in Figure 3.

3.2 Soil erodibility factor (K)

In this study, the soil erodibility factor (*K*) was extracted from soil map (scale 1:50 000) of Huong Hoa district, Quang Tri province. The *K* factor values are calculated based on the structure, properties, organic matter and permeability of soil using the soil coefficient in study of Nguyen Trong Ha (Nguyen, 1996). The *K* factor map of Huong Hoa district, Quang Tri province is presented in Figure 4.



Fig. 3. The LS-factor map

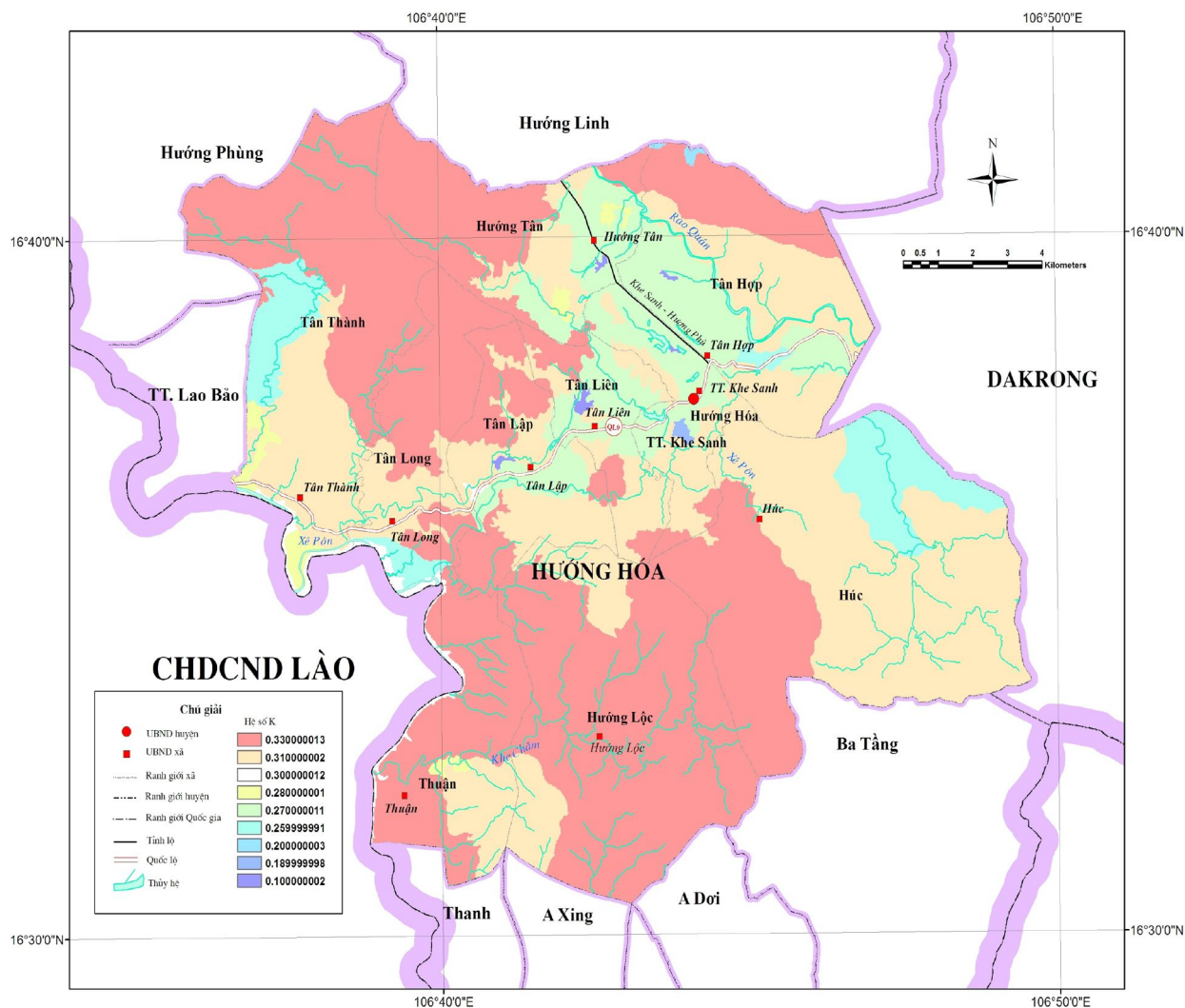


Fig. 4. The soil erodibility factor (K) map

3.3 Rainfall factor (R)

Annual rainfall data (mm/yr) period 2010 – 2017 collected at 3 meteorological stations (Quang Tri, Khe Sanh, Dong Ha) and 6 rain gauges (Xa Thanh, Vinh O, Ta Rut, Huong Son, Huong Hiep, Ba Long) were used to interpolate the rainfall factor map using the Spline interpolation method. The rainfall factor is calculated according to the following formula (Nguyen, 1996):

$$R = 0,548257P - 59,5, \quad (3)$$

where: R – rainfall factor; P – annual rainfall data (mm/yr).

The rainfall factor map (R) of Huong Hoa district, Quang Tri province is presented in Figure 5.

3.4 Conservation practices factor (P)

P factor is defined as the impact of land use or farming system on the soil erosion (Pham et al., 2018). The P factor adjusts the potential erosion by water runoff through implementing the effects of contouring, strip cropping, and terraced contour farming (Wischmeier & Smith, 1978). It reflects the effects of practices that will reduce the amount and rate of the water runoff and thus reduce the amount of erosion (Kuok et al., 2013). In this study, the P factor of Huong Hoa district is calculated by the slope based on Wischmeier and Smith's method (Wischmeier, Smith, 1978) (Table 1 and Figure 6).



Fig. 5. The rainfall factor (R) map

Table 1.

Conservation practices factor (P) in Huong Hoa district

No.	Slope (%)	Maximum length (m)	P factor
1	< 2	400	0.6
2	2 – 5	300	0.5
3	5 – 8	200	0.5
4	8 – 12	120	0.6
5	12 - 16	80	0.7
6	16 – 20	60	0.8
7	> 20	50	0.9

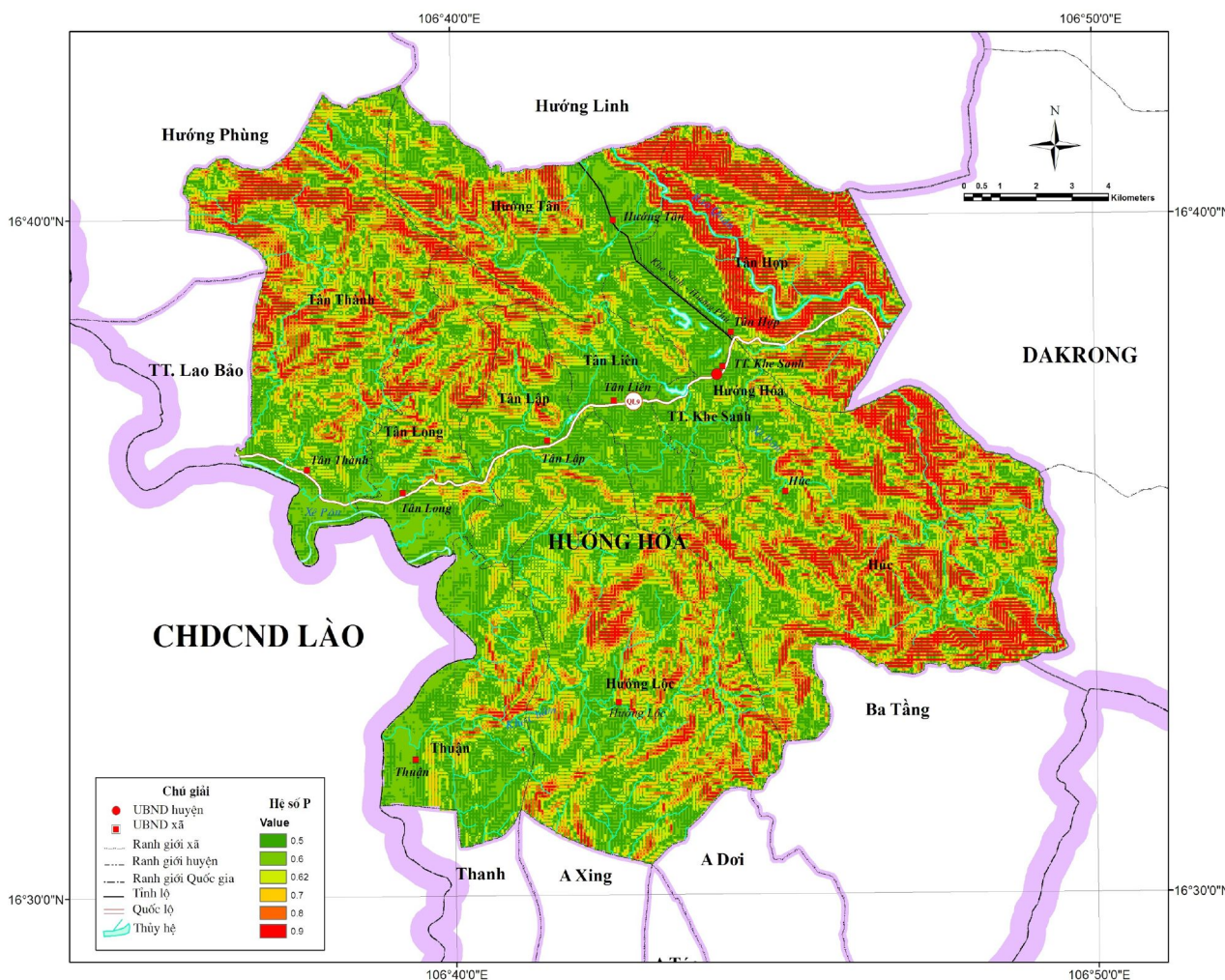


Fig. 6. The conservation practices factor (P) map

3.5 Cover factor (C)

The C-factor is perhaps the most important factor that controls soil erosion risk (Panagos et al., 2015) and it reflects the effect of cropping and management practices on the soil erosion rate (De Jong, 1994). Many researchers calculated C factor with difference equations using remote sensed data based on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). In this study, the equation suggested by De Jong (1994) was used to calculate the C factor:

$$C = 0.431 - 0.805NDVI \quad (4)$$

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (5)$$

where: NIR is the surface spectral reflectance in the near infrared band and RED is the surface spectral reflectance in the red band of Landsat multispectral images.

The cover factor map (C) of Huong Hoa district, Quang Tri province, which extracted from Landsat multispectral image 2017 is presented in Figure 7.

3.7 Soil erosion risk mapping

According to the Vietnam national standards TCVN 5299:2009 “Soil quality – Method for determination of soil erosion by rain” (Ministry of Science and Technology Vietnam, 2009), soil erosion classification in Vietnam is divided into 5 levels (Table 2).

Table 2.

Soil erosion classification in Vietnam
(Ministry of Science and Technology Vietnam, 2009)

No.	Level	Soil loss (ton/ha.yr)
1	Very low erosion	0 – 1
2	Low erosion	1 – 5
3	Medium erosion	5 – 10
4	High erosion	10 – 50
5	Extreme erosion	> 50

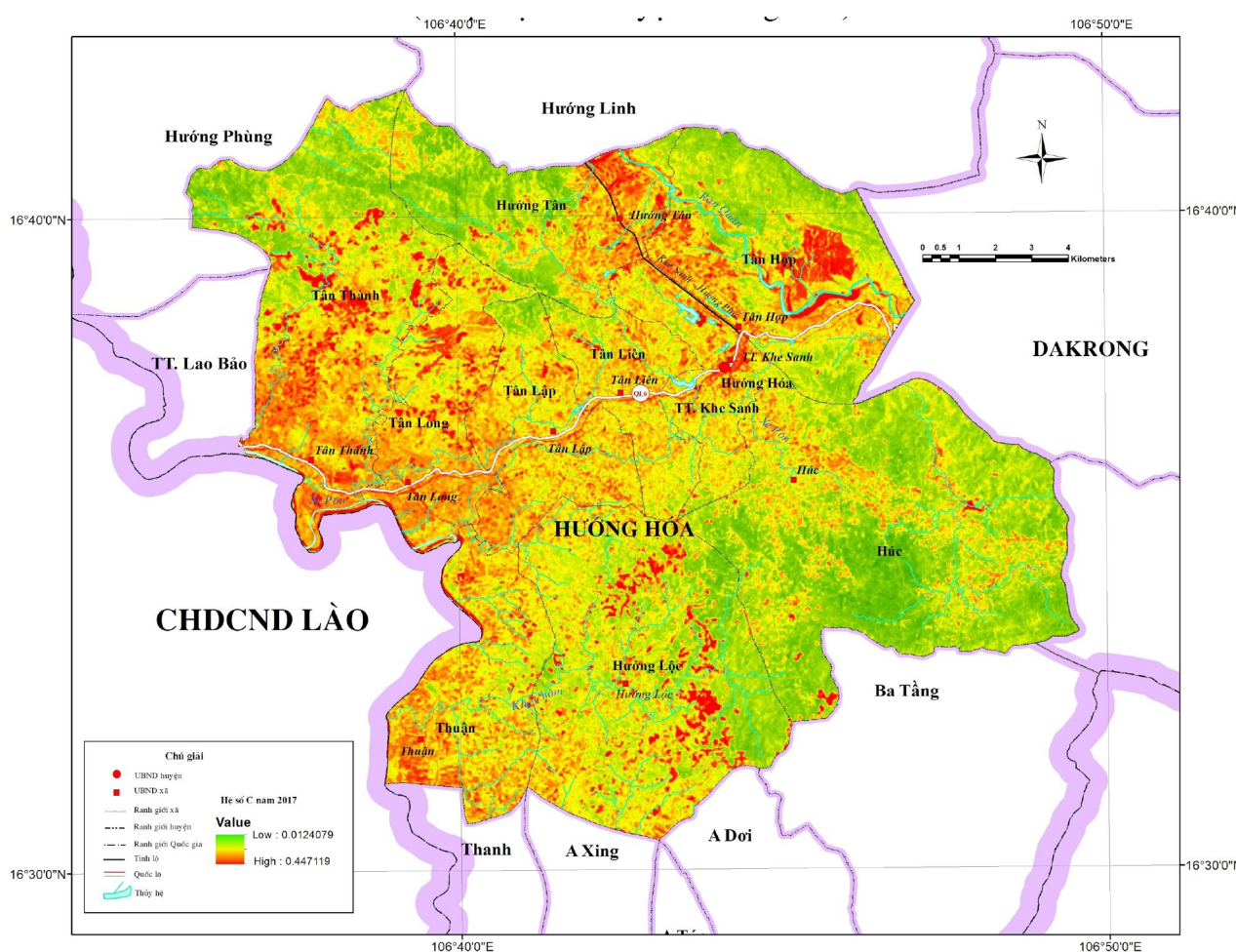


Fig. 7. The cover factor (C) map

The soil loss predictions in 2017 in the study area range from “very low erosion” to “extreme erosion” levels (Table 3; Fig. 8). The obtained results in this study show that, the area where the soil loss was greater than 10 (ton/ha.yr) occupied nearly 50% of

total study area. The areas at “extreme erosion” level occupied a significant area, corresponding to 30.93% of the study area and concentrated in the central and western regions of the study area, mostly in areas with sparse vegetation cover and high elevations.

The southeast and north-west of the study area had an erosion rate is less than the other regions, in which 35.85% of total area has “very low erosion” and 10.37% has “low erosion” level.

Field survey results at the 10 sites of erosion were used in this study for comparison with the results of erosion classification (Fig. 2). This data was observed in the

framework of the ministry-level project (Ministry of Natural Resources and Environment (Vietnam), No. 2016.01.10) in May 2017. It can be seen, 9 of the 10 sites where erosion occurs are located at “extreme erosion” level and one is located at “high erosion” level.

Table 3.

Soil erosion rate in Huong Hoa in 2017

No.	Level	Area		Color
		ha	%	
1	Very low erosion	10938.96	35.85	
2	Low erosion	3164.214	10.37	
3	Medium erosion	1186.962	3.89	
4	High erosion	5785.293	18.96	
5	Extreme erosion	9437.717	30.93	

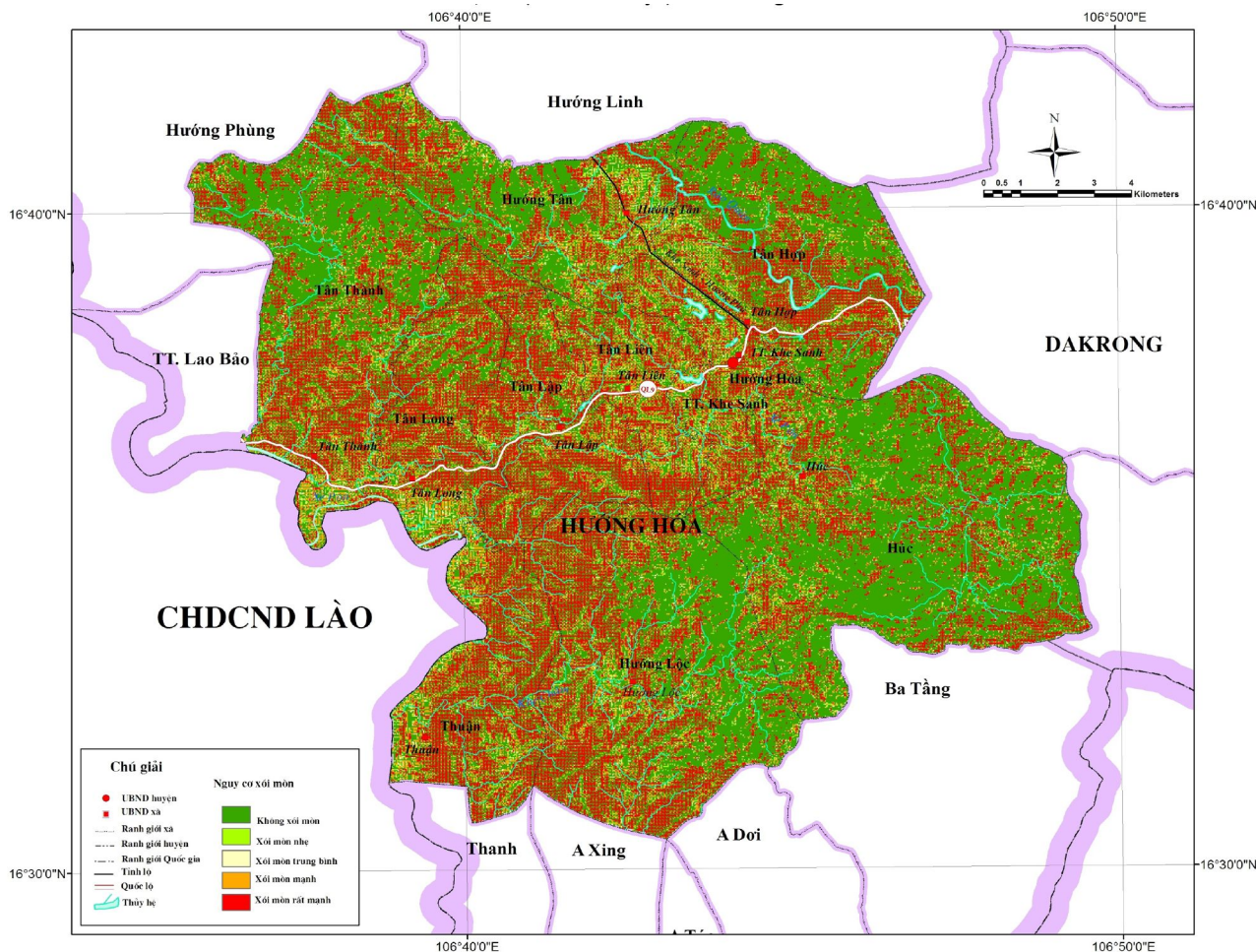


Fig. 8. Soil erosion map in Huong Hoa district, Quang Tri province in 2017

Table 4.

Comparison of erosion sites and the results of erosion classification in this study

No. of erosion sites	Coordinates	Erosion classification
1	16° 39'5.7" N	Extreme erosion
	106° 45'21.8" E	
2	16° 41'15.2" N	Extreme erosion
	106° 39'16.0" E	
3	16° 38'15.8" N	Extreme erosion
	106° 39'50.7" E	
4	16° 36'29.2" N	Extreme erosion
	106° 40'37.5" E	
5	16° 35'39.9" N	Extreme erosion
	106° 37'40.4" E	
6	16° 33'37.2" N	Extreme erosion
	106° 41'4.9" E	
7	16° 31'43.5" N	Extreme erosion
	106° 39'21.5" E	
8	16° 32'27.6" N	Extreme erosion
	106° 43'50.9" E	
9	16° 34'28.6" N	High erosion
	106° 48'12.3" E	
10	16° 36'10.4" N	Extreme erosion
	106° 45'46.4" E	

4. CONCLUSION

Soil erosion is one of the major forms of land degradation that seriously affects agriculture and the environment. Assessment of soil erosion hazard will provide the information for making decisions in land resources planning and management.

Remote sensing and GIS techniques can be used effectively to predict the risk and determine the spatial distribution of soil erosion based on USLE model. The results obtained in the study shows that vegetation cover has an important role in preventing soil erosion. The areas at "very low erosion" and "low erosion" levels in Huong Hoa district are concentrated in regions with forest cover. Meanwhile, the areas at "high erosion" (18.96% of total study area) and "extreme erosion" levels (30.93% of total study area) are concentrated in the central and western regions of the study area,

where sparse vegetation cover. Thus, the relationship between vegetation cover and soil erosion shows that, forest restoration has important in reducing the risk of erosion.

Acknowledgments: The authors would like to express their sincere gratitude to the research team from the Hanoi University of Natural Resources and Environment for providing in situ data on this paper.

REFERENCES

1. Ashiagbor, G., Forkuo, E., Laari, O., Aabeyir, R. (2013). Modeling soil erosion using RUSLE and GIS tools, International Journal of Remote Sensing and Geoscience, 2(4), 7-17.
2. Beasley, D. B., Huggins, L.F., Monke, E.J. (1980). ANSWERS: A model for watershed planning, Trans. of the ASAE, 23(4), 938 - 944.

3. De Jong, S.M. (1994). Derivation of vegetative variables from a Landsat TM image for modelling soil erosion, *Earth Surf. Processes Landforms*, 19, 165-178.
4. Elwell, H.A., Stocking, M.A. (1982). Developing a simple yet practical method of soil loss estimation, *Tropical Agriculture (Trinidad)*, 59, 43 – 48.
5. Kuok, K.K., Darrien, M., Chiu, P.C. (2013). Evaluation of C and P factors in Universal Soil Loss Equation on trapping sediment: a case study of Santubong River, *Journal of Water Resources and Protection*, 5, 1149-1154.
6. Le, V.K., Nguyen, Q.M., Nguyen, H.D. (1997). Application of remote sensing techniques and geographic information system (GIS) for the establishment of soil erosion map, *Journal of Sciences, Vietnam National University, Hanoi*, 12(6), 53 – 62.
7. Le, H.T., Nguyen, D.L., Truong, P.M., Nguyen, K.L. (2011). Assessing soil erosion in Datam watershed, Lamdong province using GIS technique, *The 3rd National GIS Conference, Danang, Vietnam*, 146 – 157.
8. Morgan, R.P.C., Duzant, J.H. (2008). Modified MMF (Morgan-Morgan-Fineey) model for evaluating effects of cops and vegetation cover on soil erosion, *Journal of Earth surface processes and Landforms*, 32, 90 – 106.
9. Nguyen, T.H. (1996). Identification of erosion factors and erosion prediction on sloping land, PhD dissertation, Thu-yloi University, Hanoi.
10. Rosewell, C.J. (1993). SOILOSS: a program to assist in the selection of management practices to reduce soil erosion, *Technical handbook No.11 (second edition)*, NSW Soil Conservation Service.
11. Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., Montanarella, L. (2015). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale, *Land Use Policy*, 48, 38-50.
12. Pham, G.T., Degener, J., Kappas, M. (2018). Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam, *International Soil and Water Conservation Research*, 6(2), 99-110.
13. Praveen, R., Kumar, U. (2012). Integrated approach of universal soil loss equation (USLE) and geographical information system (GIS) for soil loss risk assessment in upper south Koel Basin, Jharkhand, *Journal of Geographic Information System*, 4(6), 588-596.
14. Stone, R.P., Hilborn D. (2012). Universal Soil Loss Equation (USLE), *Engineer, Soil Management, OMAFRA (retired)*, 8 pp.
15. Tran, Q.V., Dang, H.V., Dao, C.T. (2011). Application of Remote Sensing and Geographic Information System in evaluating soil erosion. A Case study in Tam Nong district, Phu Tho province, *Journal of Science and Development*, 9(5), 823 – 833.
16. Trinh, L.H., Vu, D.T., Do, N.H. (2015). Evaluation of soil erosion risk using remote sensing and GIS data (A case study: Lang Chanh district, Thanh Hoa province, Vietnam), *Journal of Vestnik OrelGAU*, 4(55), 57 – 64.
17. Vezina, K., Bonn, F., Pham, V.C. (2006). Agricultural land use patterns and soil erosion vulnerability of watershed units in Vietnam's northern highlands, *Landscape Ecology*, 21(8), 1311 – 1325.
18. Vietnam national standards (2009). TCVN 5299:2009 "Soil quality – Method for determination of soil erosion by rain", *The Directorate for Standards, Metrology and Quality, Ministry of Science and Technology of Vietnam*.
19. Vu, M.T., Trinh, L.H. (2013). Application of GIS and remote sensing in studying the relationship between vegetation and soil erosion in Dilinh district, Lamdong province, *Hue University Journal of Science*, 9, 213 – 224.

20. Williams, J.R. (1975). Sediment – yield prediction with universal equation using runoff energy factor, Proceeding of the Sediment – yield Workshop, USDA Sedimentation Laboratory, Oxford, Mississippi.

21. Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning, Agriculture Handbook No. 537, 163 pp.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭРОЗИИ ПОЧВЫ В ХУОНГСКОМ РАЙОНЕ, ПРОВИНЦИИ КВАНГ ТРИ (ВЬЕТНАМ)

<i>Ле Ханг Трингх</i>	<i>Ту Фонг Буй</i>
Технический университет Ле Ку Дон, Вьетнам	Ханойский университет природных ресурсов и окружающей среды, Вьетнам
E-mail: trinhlehung125@gmail.com	Email: btp010983@gmail.com

Abstract: Эрозия является одной из причин деградации земель, оказывающих серьезное влияние на окружающую среду и производственную деятельность, особенно в горных и сельскохозяйственных районах. Многие мировые исследования показывают, что методы дистанционного зондирования и ГИС могут эффективно использоваться для мониторинга и оценки эрозии почвы. В данной статье представлены результаты картирования земель подверженных эрозии с использованием универсального уравнения потери почвы (USLE) в районе Хуонг Хоа, провинция Куанг Три (север, центр Вьетнама). В исследовании эрозивность осадков (R), крутизна длины склона (LS), эрозия почвы (K), управление покровом (C) и практика разговоров (P) были использованы для создания карты эрозии почвы. Коэффициент управления покровом был получен из многоспектрального изображения Landsat в 29 января 2017 года на основе Индекса NDVI. Полученные результаты показывают, что область высокой и чрезвычайно сильной эрозии занимает значительную площадь района Хуонг Хоа, что соответствует 8,96% и 48,91% общей площади исследования.

Keywords: Эрозия почвы, дистанционное зондирование, ГИС, земной покров.

© Le Hung Trinh, Thu Phuong Bui, 2018

ИССЛЕДОВАНИЕ АБРАЗИИ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ РЕСПУБЛИКИ БЕНИН

Цветков В.Я.	Ознамец В.В.	Дегбенъон Овивоссу Пьеретт Аурель
Центр стратегического анализа и развития НИИАС	Московский государственный университет геодезии и картографии	
E-mail: cvj2@mail.ru	E-mail: voznam@bk.ru	E-mail: aurette48@yahoo.fr

Аннотация. Статья описывает исследование абразии береговой линии республики Бенин. Абразию морского берега интерпретируют как процесс разрушения волнами и прибоем берега моря. Абразия динамический процесс, который должен описываться динамическими моделями. Объектом исследования является динамика береговой линии и береговая линия. Республика Бенин расположена на западе Африки, поэтому ее береговая полоса подвергается воздействию волн со стороны Атлантического океана. Воздействие волн океана вызывает абразию. Абразия может быть обусловлена антропогенными факторами. Строительство гидротехнических сооружений может усиливать абразию. Это имеет место в республике Бенин. Строительство порта в районе города Катону создало открытый выход к морю для озера Нокуе. Лагуна Катону стала подвергаться усиленной абразии после этого. Работа фирм Sitarz и NEDECO показала, что береговая линия Республики Бенин отступает при скорости 10–15 м в год, а в некоторых местах до 20 м во время штормов исключительной силы. Воздействие волн на береговую линию не является равномерным. Существуют точки концентрации волновых ударов, которые приводят к большим разрушениям. Строительство защитных сооружений напротив точек концентрации волн не всегда оправдано. Изменение береговой конфигурации не только ослабляет, но и смещает точки концентрации волновых ударов. Для эффективной защиты от волн необходимо моделирование и прогнозирование. Для эффективной защиты от абразии необходима система мероприятий, основой которой является геодезическое обеспечение. Работа дает анализ ситуации и предлагает меры по наблюдению за береговой линией. В качестве мер предлагается сгущение сети и установка опознаков в двух зонах. В качестве средства наблюдения и мониторинга предлагается съемка с применением беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: Абразия, геодезическое обеспечение, волновые удары, точки концентрации, сгущение сети, съемка с малых носителей, мониторинг, береговая линия, динамическая модель.

Введение

Термином абразия (abrasion) обозначают разрушение волнами берегов. Соответственно, абразия морского берега – это разрушение волнами и прибоем берега моря [1, 2]. С позиций пространственного анализа [3] абразия динамический процесс, который должен описываться динамическими моделями. Объектом исследования при анализе абразии морских берегов является динамика береговой линии и сама береговая линия. Более конкретно объектом исследования является береговая полоса республики Бенин. Республика Бенин расположена на западе Африки, и ее береговая полоса подвергается воздействию волн со стороны Атлантического океана [4]. Это

воздействие вызывает абразию. Береговая абразия является причиной разрушений объектов капитального строительства, что наносит вред экономике Республики. Для предупреждения негативного воздействия в результате абразии береговой линии необходимо создание системы наблюдений и методика обработки и анализа пространственно-временной информации. Такая система наблюдений является обязательным условием геодезического обеспечения устойчивого развития территорий [5, 6]. Такая методика включает методы организации данных и моделирования. Современные методы исследования пространственных объектов основаны на применении цифровых моделей и цифрового моделирования [7, 8]. Основой моделирования

пространственных явлений и процессов является динамическая цифровая модель (ДЦМ) [9]. Динамическая цифровая модель – это дискретная пространственная модель, которая описывает пространственные характеристики, временные характеристики и зависимость изменения пространственных характеристик с течением времени. Однако для получения динамической цифровой модели необходимо проведение комплекса работ и создание специального геодезического обеспечения [10, 11].

Береговая линия

Морским берегом называют полосу взаимодействия между сушей и морем [1]. Понятия «берег» и «береговая полоса» принято считать синонимами. Термин «береговая линия» трактуют как границу между водным объектом и сушей. Для рек и озер этого достаточно, для морских ситуаций трактовка особая, поскольку на море регулярно происходят приливы и отливы. Применительно к морской акватории местоположение береговой линии принимают как местоположение линии максимального отлива [2, 12]. Для морской акватории дополнительно к береговой линии появляется еще одно понятие литораль. Поскольку существует прилив и отлив, то фактически имеются две границы береговой линии при отливе и приливе. Литоралью называют экологическую зону морского дна, затопляемую во время прилива и осушаемую при отливе [2] (рис.1).

С позиций геоинформатики [13] следует отметить наличие двух типов пространственных объектов: линейных и ареальных. Ареальные (площадные) объекты обозначают термином зона. Таких зон при исследовании абразии три (рис.1): незатопляемая прибрежная зона или просто прибрежная зона;

периодически затопляемая приливом прибрежная зона или литораль; зона всегда покрытая водой - водная зона. Между тремя зонами существуют две границы: береговая линия и граница литорали. Исследование абразии направлено, в первую очередь, на изучение береговой линии, границу литорали, а также на прибрежную зону.

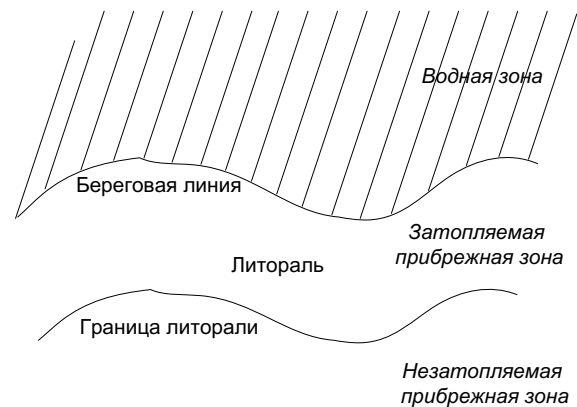


Рис.1. Литораль и береговая линия.
Littoral and coastline

На рис.2 показан упрощенный процесс абразии. Упрощение состоит в том, что на практике меняется не только береговая линия (интенсивно), но и граница литорали (менее интенсивно). На рис.2 граница литорали условно показана как неизменная.

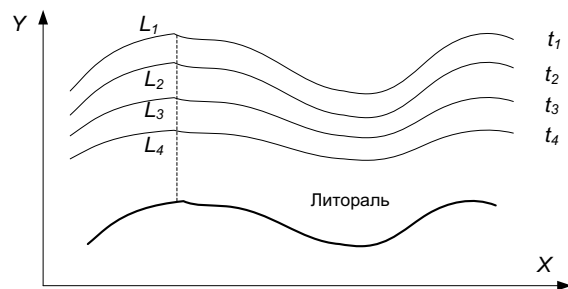


Рис.2. Упрощенный процесс абразии.
Simplified abrasion process

На рис.2 процесс абразии изображен в плане. Показаны времена $t_1, > t_2 > t_3 > t_4$ фиксирования береговой линии. Показан условно некий разрез для характерной точки береговой линии, которая характеризуется удалением этой характерной точки

линии $L_1 > L_2 > L_3 > L_4$ от границы литорали. На практике выбираю некую устойчивую линию в прибрежной зоне, по отношению к которой измеряют расстояние до береговой линии.

Если в прибрежной зоне задать сеть опознаков, то береговую линию можно определять по результатам съемки с воздушных носителей относительно известных опознаков (рис.3).

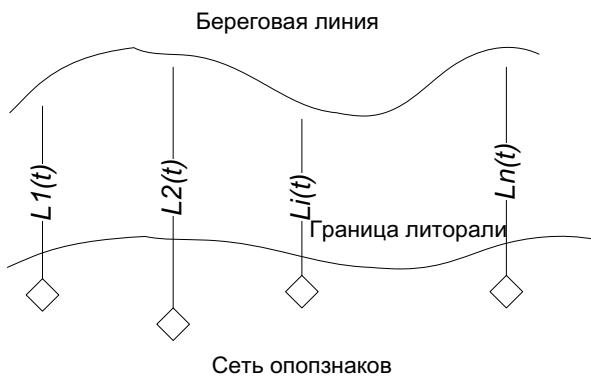


Рис.3. Оценка положения береговой линии относительно сети опознаков.
Estimation of the coastline position relative to the network of signs

Между береговыми линиями (рис.2), полученными в разные периоды времени $t_1 > t_2 > t_3 > t_4$ существует определенное конфигурационное (морфология) и информационное (параметры) соответствие и определенное различие. С течением времени различие увеличивается, а соответствие уменьшается. Аналогичная информационная ситуация имеет место для границы литорали. Поэтому выбирать границу литорали для оценки конфигурации береговой линии нельзя. Для этой цели необходимо использовать опознаки (рис.3).

Опознаки делятся на две категории. Первый тип опознаков располагается на стабильных участках. Второй тип опознаков располагается на нестабильных участках земной поверхности. Если актуальная

информация о стабильности участков земной поверхности отсутствует, её необходимо получить, выполнив предварительно специальные геодезические работы.

Периодичность наблюдений абразии должна обеспечивать возможность выявлять деформации и смещение береговой линии. Разность координат пунктов береговой линии, определённая из двух циклов наблюдений, ещё не обязательно является смещением, она может быть следствием вариации либо влиянием ошибок наблюдений. На рис.4 приведена ситуация вариативности береговой линии при отсутствии абразии.

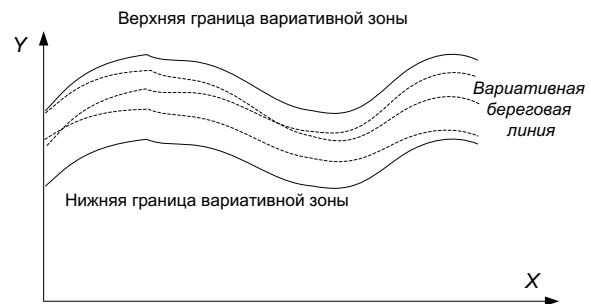


Рис.4. Вариативность береговой линии при отсутствии абразии
Variability of the shoreline in the absence of abrasion

Даже при наблюдении береговой линии в течение суток (два прилива и отлива) контур береговой линии никогда в точности не повторится. Это требует особых условий мониторинга береговой линии, в отличие, например, от мониторинга деформаций инженерного сооружения. Наблюдение береговой линии связано с наблюдением не линии, а полосы береговой линии, которая характеризуется верхней и нижней границей (рис.4). Вариативность береговой линии не зависит от средств наблюдения, а определяется местными условиями.

Второй особенностью наблюдений береговой линии является то, что геодезическими методами ее измерить

невозможно в силу динамики береговой линии. В ней нет твердых точек. Поэтому для наблюдения и фиксации береговой линии в настоящее время применяют беспилотные летательные аппараты. В настоящее время в России и за рубежом разработан ряд беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [14] для мониторинга и анализа состояния земель. Беспилотные летательные аппараты, включают использование спутниковой навигации. Они были разработаны для быстрого мониторинга небольших территорий и зон бедствий. Эта технология помогает в борьбе эрозией водосборов, оценкой зон затопления. Многие компании занимаются изготовлением этих систем, названных микро летательными аппаратами (MAV) из-за размаха крыла менее двух метров.

В отличие от воздушного мониторинга, выполняемого пилотируемой авиацией, БПЛА могут быть приготовлены к полету в течение короткого времени и могут нести как камеры дневного или инфракрасного наблюдения и прочее оборудование. Современные БПЛА имеют автопилоты, которые используют данные GPS для позиционирования маршрутов и для ориентирования камеры.

Применение БПЛА для мониторинга береговой линии

Предпосылками применения БЛА в качестве средства для аэрофотосъемки береговой линии являются недостатки традиционных способов получения снимков с помощью аэрофотосъемки и космических аппаратов. Космические средства дистанционного зондирования Земли из-за длительности процесса получения и обработки исходных материалов не удовлетворяют требованиям оперативности. Использование классических технологий аэрофотосъемки связано с использованием аэродромов с

соответствующей инфраструктурой. Дополнительно возникают затраты времени аренду авианосителя и его подготовку к выполнению аэросъемочного задания. Дополнительно возникает проблема рентабельности авиационных комплексов в случае съемки небольших объектов и малых по площади территорий. Полетные условия над морской акваторией при съемке береговой линии могут не соответствовать требованиям полета самолетов.

Экономические и временные затраты на организацию работ, приходящиеся на единицу отснятой площади с помощью БПЛА, существенно ниже (на порядки) аналогичных показателей при аэрофотосъемке больших площадей (особенно для объектов, значительно удаленных от аэродрома). Основными преимуществами применения БПЛА в качестве средства мониторинга береговой линии являются: рентабельность; возможность съемки с небольших высот, получение снимков высокого пространственного разрешения; оперативность подготовки и проведения аэрофотосъемки; отсутствие риска для жизни и здоровья пилотов.

Развитие рынка БЛА, включая мониторинг береговой линии, тормозится отсутствием нормативно-правовой базы, интегрирующей БПЛА в единое воздушное пространство.

Недостатком, сдерживающим применение БПЛА, является более низкая оснащенность системами безопасности в сравнении с традиционной аэрофотосъемкой. Многие БПЛА не снабжены системой распознавания препятствий и ухода от столкновений, кроме того, многие модели имеют не достаточно совершенные автопилоты. Технология аэрофотосъемки с БПЛА является эмпирической и не имеет научных

традиций и проработки. Недостатком БПЛА является более сильная зависимость траектории полета от ветровых нагрузок по сравнению с массивными традиционными авианосителями, включая вертолеты. Следствием этого недостатка является то, что их эксплуатация осуществляется при не сильных ветрах.

Основная часть эксплуатируемых беспилотных летательных аппаратов, предназначенных для мониторинга, оснащена аппаратурой фото- и видеосъемки. В большой степени эти средства и технологии заимствованы из технологии мотодельтопланов, а не из традиционной аэрофотосъемки.

Для аэрофотосъемки в целях мониторинга береговой линии БПЛА должен иметь на своем борту качественный автопилот, способный выдерживать параметры съемки (маршрут, углы наклона фотоаппарата, процент продольного и поперечного перекрытия, высоту и т.д.).

Для фотограмметрической обработки данных аэросъемки возможны два типа технологий. Первый тип технологии копирует классическую обработку материалов аэрофотосъемки [14]. В этом случае выдвигают следующие требования [15].

1. Идентичность аппаратуры на разных БПЛА в случае применения групповой воздушной разведки или мониторинга.

2. Снимки в одном маршруте должны иметь тройное перекрытие

3. Перекрытие между снимками соседних маршрутов при площадной съемке составляло не менее 20%. Однако для БПЛА это условие еще более жесткое. Если съемку с обычных самолетов планируют с перекрытием вдоль маршрута 60%, а между маршрутами 20-30%, то при использовании традиционной технологии проектировать съемку с БЛА следует с перекрытием вдоль маршрутов 80%, а между маршрутами –

40%, чтобы по возможности исключить разрывы в фототриангуляционном блоке.

4. Съемка с малыми углами наклона камеры. Желательно горизонтальная.

На практике, при съемке с БПЛА эти условия выдерживаются не всегда. Полет БЛА неустойчив, на него влияют порывы ветра, турбулентность и другие возмущающие факторы. При мониторинге узкой береговой линии иногда достаточно одного маршрута. Поэтому условие 3 можно опускать.

Вторая технология основана на проективной обработке снимков, допускающей обработку снимков, полученных камерами с разными параметрами [16, 17]. Эта технология не применяется в традиционной аэрофотосъемке. Но она применяется при съемке памятников истории и культуры, внешне траекторных наблюдений. Она применяется в тех случаях, когда традиционные технологии фотограмметрической съемки и соответственно методы обработки невозможно использовать.

В соответствии с требованиями точности определения береговой линии комплекс наблюдений с использованием БПЛА должен получать съемочные материалы для получения по ним карт в масштабах 1:2 000 — 1:500.

При решении этой задачи комплекс БПЛА должен иметь следующую основную аппаратуру: цифровую фоокамеру; аппаратуру стабилизации камеры; систему спутникового позиционирования. В качестве цифровой камеры для комплекса картографирования на базе БЛА целесообразно выбрать кадровую камеру малого (с объемом кадра менее 20 Мр) или среднего (с объемом кадра от 20 до 64 Мр) формата.

Фотокамеры малого формата представляют собой серийно выпускаемые промышленностью любительские или профессиональные цифровые фотоаппараты. Их

применение требует калибровки. Аэрофотокамеры среднего формата адаптированы к особенностям аэрофотосъемочных работ, могут быть интегрированы в современные системы управления полетом, оснащаются средствами компенсации сдвига изображения.

Цифровая аэрокамера для съемки береговой линии должна обеспечивать возможность съемки с заданным временным интервалом, обеспечивающим продольное перекрытие снимков 60-80%; обеспечивать получение исходных цветных изображений местности с размером кадра от 500x500 м на местности;

Пространственное разрешение при съемке с высоты до 1000 м должно быть не хуже 0,2 м при контрасте 0,5. Гиросtabilизирующая установка предназначена для выдерживания заданного положения аэрокамеры, уменьшения влияния вибраций планера БЛА на качество аэрофотоснимков. Гиropлатформа должна отвечать следующим требованиям: обеспечивать динамическую стабилизацию установленного на ней аэросъемочного оборудования путем компенсации углов вращения планера БЛА (углов крена, тангажа и рыскания, или отклонения от курса); иметь соответствующую пластину адаптации (адаптер) для сопряжения с конкретной моделью аэрокамеры; обеспечивать диапазон углов стабилизации по крену и тангажу не менее 5-6°.

Современный уровень развития навигационных средств позволяет производить измерения элементов внешнего ориентирования непосредственно в процессе съемки. Типичные точности таких измерений достигают единиц метров по пространственным координатам X, Y, Z и долей градуса по углам крена, тангажа и рыскания. Часто этого достаточно, чтобы производить обработку без

использования опорных точек. В любом случае, наличие таких данных значительно упрощает обработку и позволяет выполнять некоторые этапы обработки полностью в автоматическом режиме.

Система спутникового позиционирования основана на навигационных комплексах GPS/IMU. Ее основная задача определения точки съемки и условий ориентирования камеры в момент съемки. Кроме того, она предназначена для определения скорости носителя и направления его перемещения.

В режиме мониторинга береговой линии должно выполняться условие точности плановых координат объектов местности не хуже 5 м без наземной подготовки.

Современные беспилотные летательные аппараты имеют возможность нести съёмочное оборудование, обеспечивающее пространственное разрешение съёмки в 4 см при нормальной высоте полёта, ширина полосы захвата в среднем составляет 160 м, скорость полёта – порядка 33 км/ч.

Для покрытия 120-км береговой линии Республики Бенин ежедневными (4 раза в день) данными БПЛА с продолжительностью сеанса съёмки 1 час потребуется 4 БПЛА самолётного типа, а также организация 3 станций, на которых будет осуществляться посадка БПЛА. [18, 19]. Схема планируемых маршрутов БПЛА приведена на рис. 5.

Береговая абразия в республике Бенин

Явление береговой абразии в республике Бенин связано с осадочными процессами, основным из которых является фактор, состоящий из гидродинамических агентов. В зависимости от характера береговой линии, берег скалистый или песчаный, явления абразии имеют не одинаковую

интенсивность. Скалистое побережье подвергается абразии, но очень немногие песчаные ребра подвержены абразии из-за рыхлого характера отложений [20, 21]. Постоянные факторы волнового воздействия и сезонные колебания создают абразию береговую линию в республике Бенини. Работа, проделанная Sitarz и NEDECO (Голландские научные структуры) показала, что береговая линия Республики Бенини отступает при скорости 10–15 м в год, а в некоторых местах до 20 м во время штормов исключительной силы (волнение, происходящее раз в сто лет).

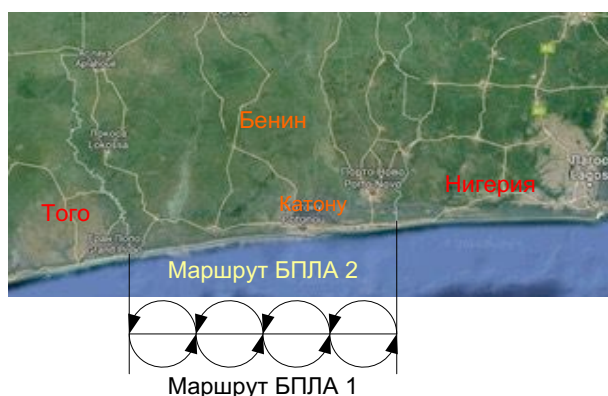


Рис. 5. Схема планируемых маршрутов БПЛА

The scheme of planned routes of the UAV)

Волна при её распространении вдоль побережья подвергается многочисленным модификациям и преломлениям. Это создает точки концентрации волновых ударов, на которых сосредотачивается максимальная энергия. Именно поэтому в этих местах проявляется интенсивная абразия во время штормов. По этой причине произошли многие изменения в сегментах побережья Бенини в Тогбин на западе от Котону.

Абразия очень жестоким образом сказывается на побережье г. Котону, где отели, стоящие на побережье, постепенно поглощаются морем. Жилые районы также находятся под угрозой разрушения. Кроме того, абразия

нанесла серьезный ущерб лагуне системы озера Нокуе. Лагуна Котону была открыта в 1885 г. Она возникла вследствие того, что во время половодья имелась возможность спускать в море воды озера Нокуе. Воды озера Нокуе – это в основном воды двух рек (Квеме и Со), которые впадают в озеро. Впоследствии в лагуне был построен порт. До строительства порта выход к лагуне представлял собой чередование открытия и закрытия водной массы. Во время сухого сезона выход к лагуне со стороны моря был закрыт. Во время сезона дождей уровень воды в реке Нокуе рос, это приводило к тому, что лагуна открывалась и вливала свои воды в океан.

Но с 1960 г. после строительства Западного Дайк-порта выход к морю стал открытым. Это наносит серьезный ущерб экосистеме лагуны. По этой причине приливы и отливы в Лагуне стали постоянными в течение года и достаточными, чтобы вызвать усиление абразии берега реки и засоления озера Нокуе [22]. Постоянный выход к морю способствовал проникновению соленой воды в канал Котону и озеро Нокуе, а результатом стало изменение количества рыбы в озере. В частности, были затоплены озера моллюсков, морские буровые установки, что привело к быстрой деградации «acadjas» (пункты, используемые людьми для традиционного рыболовства).

Пострадали также дома, построенные на сваях в озере, а также хозяйство рыбаков. Наконец, целые деревни исчезли в устье реки Моно после строительства плотин Нангбето и ослабления стока воды в период паводков [22]. К востоку от г. Котону находятся места, которые являются наиболее проблемными, связанными с прибрежной абразией со скоростью около 20 м/год. Поэтому постоянный контроль за этим явлением на основе геодезических измерений и разработка мер инженерных мероприятий очень

актуальны для республики Бенин [22]. На рис. 6-8 представлены примеры ущерба от береговой абразии в Республике Бенин.

Важнейшей задачей в борьбе с абразией морского берега является возведение пассивных и активных защитных инженерных сооружений [23]. К пассивным сооружениям относятся берегоукрепительные сооружения, которые принимают удары морских волн и тем самым временно задерживают разрушение берега. Это следующие сооружения: набережные, волноотбойные стены, каменные наброски, прямые и ступенчатые откосные сооружения, волногасящие бермы из фигурных массивов и т.д. Но эти сооружения, как правило, недолговечны особенно на крутых берегах. Например, имеются примеры разрушения набережных через 8-10 лет после их возведения.

В состав берегозащитных сооружений активного типа входят также сооружения, которые служат как для гашения энергии волн, так и для накопления и удерживания наносов, слагающих пляж. С помощью таких сооружений человек активно вмешивается в берего формирующие процессы. Главные представители пляже удерживающих сооружений - буны и подводные волноломы. Однако строительство таких сооружений без научной основы существенно снижает эффективность мероприятий [10]. Выше было отмечено существование точек концентрации волновых ударов, на которых сосредотачивается максимальная энергия. Интуитивное строительство защитных сооружений формально направлено на гашение этих ударов. Однако на практике волновые сооружения привели не только к гашению, но и к перемещению точек концентрации волновых ударов. Для учета таких последствий необходимо пространственное моделирование и прогнозирование.



Рис.6. Август 2017, здание расположенное недалеко от пляжа разрушенное абразией August 2017, a building located near the beach destroyed by abrasion



Рис. 7. Июль 2013, отель, расположенный недалеко от пляжа полностью разрушен морем July 2013, the hotel, located near the beach completely destroyed by the sea



Рис 8. Февраль 2015, квартал Жак, опустошен из продвижения моря February 2015, the quarter of Jacques, devastated from the promotion of the sea

Геодезическое обеспечение наблюдения береговой линии

Геодезическое обеспечение в широком смысле слова включает комплекс работ и разных технологий, в которых геодезическое обеспечение является доминирующим и интегрирующим [24, 25]. Геодезическое обеспечение является более широким понятием, чем геодезические работы или геодезические наблюдения. Оно включает установку сети, опознаков, проведение съемок с БПЛА, обработку материалов, построение визуальной модели, построение динамической цифровой модели (в нашем случае абразии).

В силу своей масштабности геодезическое обеспечение наблюдения за береговой линией делится на категории: информирующее; координационное, управленческое и комплексное. Информационное геодезическое обеспечение содержит информацию о результатах геодезических работ или о результатах мониторинга. Примером информирующего геодезического обеспечения является инфраструктура пространственных данных [26].

Координирующее геодезическое обеспечение направлено на координацию работ и обеспечивает сопоставимость и использование результатов наблюдений и измерений в некой общей технологической схеме решения задачи. такой задачей может быть уменьшение влияния абразии.

Управленческое геодезическое обеспечение связано с определенным видом деятельности, требующей поддержки за счет геодезических работ. Например, геодезическое обеспечение кадастровой деятельности, геодезическое обеспечение строительных работ, геодезическое обеспечение гидротехнических сооружений, геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации дорог,

геодезическое обеспечение организации наблюдений за береговой линией и пр. Комплексное геодезическое обеспечение связано с разными комбинациями перечисленных направлений. Геодезическое обеспечение организации наблюдений за береговой линией использует комплексное геодезическое обеспечение, поскольку применяется для научных целей, для управления и для проведения технических мероприятий.

В данный момент положения всех пунктов государственной сети первого класса Республики Бенин определены во всемирной системе координат WGS 84 в зоне 31N проекции UTM (рис.9) [27]. Из 60 точек, которые распределяются по всей территории, 3 пункта находится недалеко от побережья.

По аналогии с плановой геодезической сетью Бенина, службой ORSTOM-IGN France (Office de la recherche scientifique et technique outre-mer) была создана государственная нивелирная сеть Республики Бенин. Протяжённость государственной нивелирной сети Республики Бенин I класса составляет 1060 км. Средняя квадратическая погрешность 1 км нивелирного хода сети I класса равна ± 5 мм; сеть II класса, которая простирается на 309 км, имеет среднюю квадратическую погрешность ± 1 см. После многолетней эксплуатации сети многие пункты были потеряны. На многих из оставшихся пунктов сети специалисты IGN Bénin определяли координат спутниковыми методами.

Исходя из имеющегося опыта организации беспилотной аэрофотосъёмки, для контроля точности полученного материала необходимо порядка 2 контрольных точек (опознаков) на 1 кв. км. Так, при получении ортофотоплана масштаба 1:200 на площадь 460 кв. км (муниципальное образование город Ноябрьск) использовалось 200 контрольных точек.

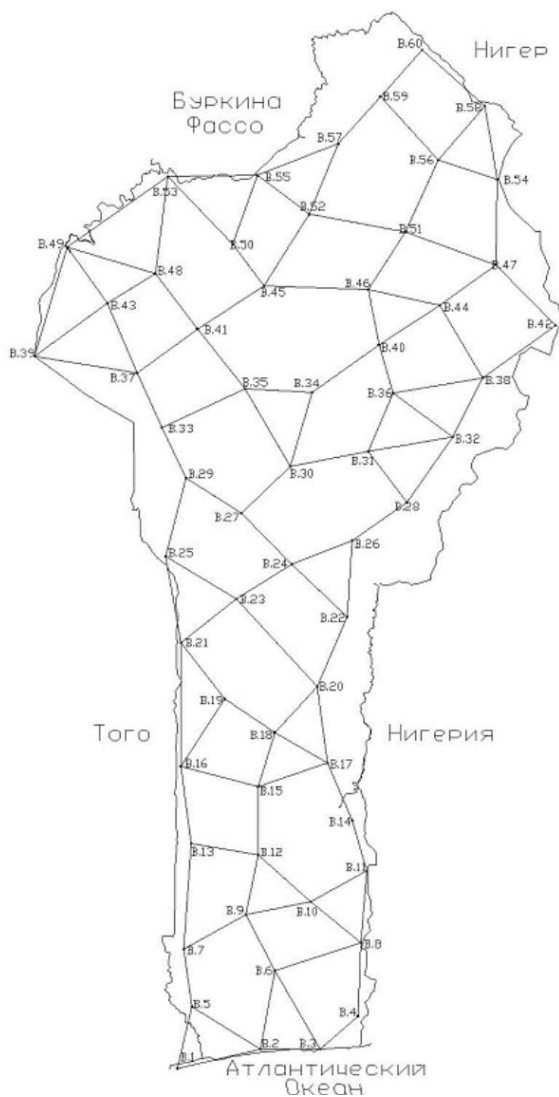


Рис.9. Схема геодезической сети Республики Бенин.
Geodetic network map of the Republic of Benin

Таким образом, для использования беспилотных летательных аппаратов для мониторинга динамики береговой линии Республики Бенин необходимо проведение работ по созданию управленческого геодезического обеспечения на основе государственной геодезической сети, выражающихся в сгущении сети «твёрдых точек» и создании таким образом опознаков с последующим уравниванием сгущённой сети.

Простые расчёты показывают, что при длине береговой линии Республики

в 120 км и расчётной полосе съёмки 100 м необходимо наличие 12 опознаков. В случае проектирования сети опознаков «с запасом», то есть с учётом ежегодного смещения полосы съёмки сообразно отступанию береговой линии, их число может быть равно 30-40 опознакам.

Исходя из описанных выше характеристик беспилотной съёмки (пространственное разрешение – 4 см), точность определения координат опознаков в плане и по высоте должна быть лучше 4 см. Наиболее экономически целесообразным в настоящее время для выполнения данной задачи видится использование метода спутниковых геодезических измерений.

Целесообразным также видится установка на опознаках, координаты которых будут известны в случае проведения описанных выше работ с достаточно высокой точностью, водомерных постов, для увеличения плотности водомерных измерений. В настоящее время на берегу Республики Бенин находится лишь один мареограф, установленный в 2011 году. Он ведёт записи уровня воды с интервалом 5 мин.

Применение методов нечетких множеств для наблюдения за береговой линией

Одной из принципиальных особенностей береговой линии является ее размытость. Береговая линия не является фиксированным линейным объектом, а представляет собой вариативную границу (рис.4), которая меняется ежеминутно. Это приводит к тому, что классические методы точечного вычисления становятся неприемлемыми и возникает необходимость переходить к теории нечетких множеств [28] и мягким вычислениям [29]. В пространственном анализе это приводит к понятию нечеткой пространственной ситуации [30, 31].

Береговая линия является классическим нечетким объектом. Она представляет собой трапецевидное число [32], для которого необходимо использовать нечеткую логику.

Задача позиционирования нечетких пространственных объектов с размытыми границам на местности требует анализа значений лингвистических переменных. Эти лингвистические переменные описывают нечеткие оценки границ в соответствии с заданными критериями.

При наличии четкой информации для описания пространственных объектов и их окружения применяют модель информационной ситуации [33]. Обычная информационная ситуация и пространственная информационная ситуация [34] обладает четкостью. Она описывает не только объект на местности, но и все его важнейшие связи и пространственные отношения [35]. Нечеткая информационная ситуация \hat{s} является вариативной. Она описывает отдельные характеристики информационной ситуации с определенной вероятностью. При этом в качестве значений она использует не точечные значения, а трапецевидные или треугольные. Нечеткая информационная ситуация характеризуется лингвистическими переменными y , значения которых имеют различные степени истинности или принадлежности базовому множеству значений [32] U .

$$\hat{s} = \{ \{ \mu_s(y_k) \}, y_k \in U, \quad (1)$$

$$\mu_s(y_k) = \{ \mu_{s(ykl)}(T^k_l) \}; \mu_s \in [0, 1], \quad (2)$$

где $k = 1, \dots, P$; -множество критериев оценки ситуации $l = 1, \dots, q_k$, - множество термов данного критерия; T^k_l значение терма лингвистической переменной y_k по критерию k и по значению l внутри этого критерия. Символ $\{ \}$ применяют для обозначения набора или коллекции данных

$$\{a\} = a_1, a_2, a_3, \dots, a_n \quad (3)$$

В отдельных случаях выражение (3) можно рассматривать как вектор. Каждое место размещения будет характеризоваться набором значений лингвистических переменных, описывающих параметры мест размещения, и будет описано с помощью соответствующей нечеткой ситуации $\hat{s}_i, i=1 \dots n$

$$\hat{s}_i = \{ \{ \mu_s(x_k) \}, = \{ \mu_{s(xkl)}(T^k_l) \} \quad (4)$$

Исследуем множество X , включающее n альтернативных мест размещения пространственных объектов: $X = \{ x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \}$

Полезность или предпочтительность [36] размещения оценивается на основе множества критериев $K = K_1, K_2, \dots, K_p$. Следует отметить особенность решения данной задачи. Поскольку исходные условия не являются четкими, то говорить об оптимальности решения не представляется корректным. Можно говорить о квазиоптимальности, целесообразности решения, о полезности решения или о предпочтительности решения. Ситуационный анализ и нечеткий анализ, как правило, является сравнительным. Его решения имеют в качестве области истинности только исследуемую совокупность объектов или ситуаций. Поэтому сравнительная полезность или целесообразность решения является условной и может измениться при включении новых объектов в совокупность.

Каждая нечеткая информационная ситуация (4) может быть выражена через нечеткое термальное множество (T^k_l) , где $\{ \{ \mu_s(x_k) \}$ конкретная лингвистическая оценка места x_i по критерию K_k , характеризующая степень соответствия альтернативы понятию, определяемому критерием K_k .

Значения оценок μ вычисляются по формулам мягких вычислений, но с учетом качества критерия. На практике

критерии имеют два качества. Одни требуют максимума (например, прибыль), другие минимума (например, затраты). Поэтому с учетом качества критерия производят лингвистические оценки, в одних случаях ищут максимум в других минимум. Возможны и более сложные минимаксные или максиминимумные варианты [28]. Детально механизм применения нечетко оценки применительно к пространственной ситуации описан в [30]. В данном случае следует отметить целесообразность применения данного метода, который себя многократно зарекомендовал. В частности при решении задач пространственного анализа [31].

Заключение

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что наблюдение и укрепление береговой линии республики Бенин выполняется разрозненными технологиями без интеграции данных и технологий. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что при мониторинге береговой линии не используют интегрированные модели и технологии, а осуществляют поточечный метод наблюдения. Проведенные исследования показывают, что отсутствует диверсификация геодезического обеспечения и существует необходимость эту диверсификацию выполнить. Решение задачи на уровне отдельных технологий невозможно. Ориентация защитных мероприятий только на точки концентрации волн со стороны океана представляется некорректной. Более сложные циклические феномены, феномены батиметрии и природы оффшорных фондов в некоторых устьях также могут вызывать значительные изменения в распространении волн, в результате чего возникают новые точки

исключительной концентрации энергии волн, а старые центры концентрации изменяют интенсивность воздействия. В силу этого для комплексного мониторинга и укрепления береговой линии республики Бенин необходимо создавать интегрированное геодезическое обеспечение включающие разные технологии и методы, в том числе и теорию нечетких множеств.

Литература

1. Леонтьев О.К. Основы геоморфологии морских берегов. М.: Наука, 1961. - 418 с.
2. Морской энциклопедический справочник. — Л.: Судостроение. Под редакцией академика Н. Н. Исанина. 1986.
3. Булгаков С.В., Цветков В.Я. Пространственный анализ: Монография. – Москва: МАКС Пресс, 2018. – 216с. ISBN 978-5-317-05841-8.
4. Бенин (Республика) <http://knowledge.su/b/benin-respublika>. Data view 10.06.2018.
5. Ознамец В.В. Моделирование устойчивого развития территорий // Науки о Земле. – 2018. - № 1. - с.61-69.
6. Ознамец В. В. Проблемы устойчивого развития территорий // Государственный советник. – 2018. - №2. – с.11-19.
7. Павлова А.И. Применение методов цифрового моделирования рельефа для картографирования эрозионных земель // В мире научных открытий. – 2016. – №. 2. – С. 159-169.
8. Павлов А.И. Цифровое моделирование пространственных объектов// Славянский форум, 2015. - 4(10) – с.275-282
9. Цветков В.Я. Цифровые карты и цифровые модели // Геодезия и аэрофотосъемка. 2000, №2. с.147-155.
10. Господинов С.Г. Геодезическое обеспечение цифрового моделирования. // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - №4 (16). – с.121-130.
11. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение формирования охранных зон линейных объектов// Славянский

- форум. -2018. – 1(19). - с.42-48
12. Айбулатов Н.А. Проблемы геоэкологии шельфа и морских берегов. – Геоэкология, 1993, №3, с. 3-17
 13. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии - М.: Финансы и статистика, 1998. -288с.
 14. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Аэросъемка фотограмметрия и дистанционное зондирование: Учебное пособие. - М.: МГУПС (МИИТ), 2015. – 83с
 15. Ознамец В. В. Геомониторинг на транспорте с использованием БПЛА// Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – с.43-53.
 16. Цветков В.Я. Методика обработки снимков неправильной формы // В кн. Развитие и использование аэрокосмических методов изучения природных явлений и ресурсов. - Новосибирск.: СО АН СССР, ИГИГ, ВЦ СО АН СССР, 1979, с.56 - 63
 17. Цветков В.Я., Ходорович Е.А. Составление обмерных чертежей архитектурных памятников с использованием архивных фотоснимков. - М.: МК РСФСР, Ростреставрация, 1986 - 52с.
 18. Zheng C. et al. Evolutionary route planner for unmanned air vehicles //IEEE Transactions on robotics. – 2005. – Т. 21. – №. 4. – С. 609-620.
 19. Tulum K., Durak U., Yder S. K. Situation aware UAV mission route planning //Aerospace conference, 2009 IEEE. – IEEE, 2009. – С. 1-12.
 20. Меры борьбы с абразией береговой: http://www.securitepu-blique.gouv.qc.ca/securite-civile/surveillance_territoriale/erosion-berges/solutions.html/
 21. Абразия морских берегов : https://knowledge.allbest.ru/geology/2c0a65635a2ac69b5d43b89521306d26_0.html/
 22. Ibe A.C., Quélenec R.E. (1989) – Méthodologie d'inventaire et de contrôle de l'érosion côtière dans la région de l'Afrique de l'Ouest et du Centre. Rapport et études des mers régionales n 107. 107 p.
 23. Рагозин А.Л., Бурова В. Н. Региональный анализ абразионной опасности и риска на морях и водохранилищах России // Современные проблемы изучения берегов. СПб.: ИТА РАН, 1995, с. 45—46/
 24. Ознамец В.В., Цветков В.Я. Бизнес геодезия: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2018. – 112с. ISBN 978-5-317-05825-8
 25. Ознамец В.В., Цветков В.Я. Геомониторинг: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2018. – 112 с. ISBN 978-5-317-05771-8
 26. Савиных В.П., Соловьёв И.В., Цветков В.Я. Развитие национальной инфраструктуры пространственных данных на основе развития картографо-геодезического фонда Российской Федерации // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка.- 2011.-№5. - с.85-91.
 27. Нубукпо Гумену Коджо Разработка методов и программного обеспечения для повышения точности опорных сетей Буркина-Фасо и Того на основе GPS измерений. Дис... канд. техн. наук / МИИГАиК. – Москва, 2009. - 102с
 28. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования. – Рига: Зинатне, 1990. – 184с.
 29. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Мягкие вычисления// Славянский форум. - 2018. – 1(19). - с.63-69
 30. Цветков В.Я., Ознамец В.В. Задача размещения пространственного объекта на основе использования нечеткой информационной ситуации // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2018.- №2(64). – с.109-115
 31. Розенберг И. Н., Старостина Т. А. Решение задач размещения с нечеткими данными с использованием геоинформационных систем. – М.: Научный мир, 2006. -208с.
 32. Корячко В.П., Бакулева М.А., Орешков В.И. Интеллектуальные системы и нечеткая логика. М.: КУРС, 2017. -352с.
 33. Цветков В.Я. Модель информационной ситуации // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - с.13-19
 34. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // Славянский форум, 2016. -4(14). – с.198-203.
 35. Савиных В.П. Информационные

- пространственные отношения // Образовательные ресурсы и технологии. – 2017. - №1 (18). – с.79-88.
36. Цветков В.Я. Основы теории предпочтений.- М.: МАКС Пресс, 2004. - 48с.

References

1. Leont'ev O.K. Osnovy geomorfologii morskikh beregov. M.: Nauka, 1961. - 418 s.
2. Morskoj enciklopedicheskij spravochnik. — L.: Sudostroenie. Pod redakciej akademika N. N. Isanina. 1986.
3. Bulgakov S.V., Cvetkov V.Ya. Prostranstvennyj analiz: Monografiya. – Moskva: MAKS Press, 2018. – 216s. ISBN 978-5-317-05841-8.
4. 4.Benin <http://knowledge.su/b/benin-respublika>. Data view 10.06.2018.
5. Oznamec V.V. Modelirovanie ustojchivogo razvitiya territorij // Nauki o Zemle. – 2018. - № 1. - s.61-69.
6. Oznamec V. V. Problemy ustojchivogo razvitiya territorij // Gosudarstvennyj sovetnik. – 2018. - №2. – s.11-19.
7. Pavlova A.I. Primenenie metodov cifrovogo modelirovaniya rel'efa dlya kartografirovaniya erozionnyh zemel' //V mire nauchnyh otkrytij. – 2016. – №. 2. – S. 159-169.
8. Pavlov A.I. Cifrovoe modelirovanie prostranstvennyh ob"ektov// Slavyanskij forum, 2015. - 4(10) – s.275-282/
9. Cvetkov V.Ya. Cifrovye karty i cifrovye modeli // Geodeziya i aerofotos"emka. 2000, №2. s.147-155.
10. Gospodinov S.G. Geodezicheskoe obespechenie cifrovogo modelirovaniya. // Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii. – 2016. - №4 (16). – s.121-130.
11. Oznamec V.V. Geodezicheskoe obespechenie formirovaniya ohrannyh zon linejnyh ob"ektov// Slavyanskij forum. -2018. – 1(19). - s.42-48
12. Ajbulatov N.A. Problemy geoekologii shel'fa i morskikh beregov. – Geoekologiya, 1993, №3, s. 3-17.
13. Cvetkov V.Ya. Geoinformacionnye sistemy i tekhnologii - M.: Finansy i statistika, 1998. - 288s.
14. Rozenberg I.N., Cvetkov V.Ya. Aeros"emka fotogrammetriya i distancionnoe zondirovanie: Uchebnoe posobie. - M.: MGUPS (MIIT), 2015. – 83s
15. Oznamec V. V. Geomonitoring na transporte s ispol'zovaniem BPLA// Nauka i tekhnologii zheleznyh dorog. – 2018. – 1(5). – s.43-53.
16. Cvetkov V.Ya. Metodika obrabotki snimkov nepravil'noj formy // V kn. Razvitie i ispol'zovanie aerokosmicheskikh metodov izucheniya prirodnyh yavlenij i resursov. - Novosibirsk.: SO AN SSSR, IGIG, VC SO AN SSSR, 1979, s.56 – 63.
17. Cvetkov V.Ya., Hodorovich E.A. Sostavlenie obmernyh chertezhej arhitekturnyh pamyatnikov s ispol'zovaniem arhivnyh fotosnimkov. - M.: MK RSFSR, Rosrestavraciya, 1986 - 52s.
18. Zheng C. et al. Evolutionary route planner for unmanned air vehicles //IEEE Transactions on robotics. – 2005. – T. 21. – №. 4. – C. 609-620.
19. Tulum K., Durak U., Yder S. K. Situation aware UAV mission route planning //Aerospace conference, 2009 IEEE. – IEEE, 2009. – C. 1-12.
20. Measures to combat coastal abrasion: http://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-civile/surveillance_territoriale/erosion-berges/solutions.html/ Data view 10.06.2018
21. Abrasion of sea shores: https://knowledge.allbest.ru/geology/2c0a65635a2ac69b5d43b89521306d26_0.html/ Data view 10.06.2018
22. Ibe A.C., Quélenec R.E. (1989) – Méthodologie d'inventaire et de contrôle de l'érosion côtière dans la région de l'Afrique de l'Ouest et du Centre. Rapport et études des mers régionales n 107. 107 p.
23. Ragozin A.L., Burova V. N. Regional'nyj analiz abrazionnoj opasnosti i riska na moryah i vodohranilishchah Rossii // Sovremennye problemy izucheniya beregov. SPb.: ITA RAN, 1995, s. 45—46/
24. Oznamec V.V., Cvetkov V.Ya. Biznes geodeziya: Monografiya. – M.: MAKS Press, 2018. – 112s. ISBN 978-5-317-05825-8
25. Oznamec V.V., Cvetkov V.Ya. Geomonitoring: Monografiya. – M.: MAKS Press, 2018. – 112 s. ISBN 978-5-317-05771-8.
26. Savinyh V.P., Solov'yov I.V., Cvetkov V.Ya. Razvitie nacional'noj infrastruktury prostranstvennyh dannyh na osnove razvitiya kartografo-geodezicheskogo fonda Rossijskoj Federacii // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geodeziya i aerofotos"emka.- 2011.-№5. - s.85-91.
27. Nubukpo Gumenu Kodzho Razrabotka metodov i programmnoho obespecheniya dlya povysheniya tochnosti opornyh setej Burkina-Faso i Togo na osnove GPS izmerenij. Dis... kand. tekhn. nauk / MIIGAiK. – Moskva, 2009. - 102s

28. Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. Prinyatie reshenij na osnove nechetkih modelej. Primery ispol'zovaniya. – Riga: Zinatne, 1990. – 184s.
29. Rozenberg I.N., Cvetkov V.Ya. Myagkie vychisleniya// Slavyanskij forum. -2018. – 1(19). - s.63-69.
30. Cvetkov V.Ya., Oznamec V.V. Zadacha razmeshcheniya prostranstvennogo ob"ekta na osnove ispol'zovaniya nechetkoj informacionnoj situacii // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta. – 2018.- №2(64). – s.109-115
31. Rozenberg I. N., Starostina T. A. Reshenie zadach razmeshcheniya s nechetkimi dannymi s ispol'zovaniem geoinformacionnyh sistem. – M.: Nauchnyj mir, 2006. – 208s.
32. Koryachko V.P., Bakuleva M.A., Oreshkov V.I. Intellektual'nye sistemy i nechetskaya logika. M.: KURS, 2017. -352s.
33. Cvetkov V.Ya. Model' informacionnoj situacii // Perspektivy nauki i obrazovaniya. - 2017. - №3(27). - s.13-19
34. Pavlov A.I. Prostranstvennaya informacionnaya situaciya // Slavyanskij forum, 2016. - 4(14). – s.198-203.
35. Savinyh V.P. Informacionnye prostranstvennye otnosheniya // Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii. – 2017. - №1 (18). – s.79-88.
36. Cvetkov V.Ya. Osnovy teorii predpochtenij.- M.: MAKS Press, 2004. - 48s.



STUDY OF ABRASION OF THE COASTLINE OF BENIN

<i>Tsvetkov V.Ya.</i>	<i>Oznamec V.V.</i>	<i>Degbenon Ovivosu Pierrett Aurelle</i>
Center for strategic analysis and development, Research and Design Institute of design information, automation and communication on railway transport	Moscow State University of Geodesy and Cartography	
E-mail: cvj2@mail.ru	E-mail: voznam@bk.ru	E-mail: aurette48@yahoo.fr

Abstract: The article describes the study of abrasion of the coastline of the Republic of Benin. The abrasion of the sea shore is interpreted as the process of destruction by the waves and surf of the sea shore. Abrasion is a dynamic process, which I describe by dynamic models. The object of the study is the dynamics of the shoreline and the coastline. The Republic of Benin is located in the west of Africa, so its coastline is exposed to waves from the Atlantic Ocean. The impact of ocean waves causes abrasion. Abrasion is also caused by anthropogenic factors. The construction of hydraulic structures increases abrasion. Such a situation takes place in the Republic of Benin. The construction of the port near the city of Cotonou has created an open access to the sea for Lake Nokue. The Katona Lagoon began to undergo a severe abrasion after this. The work of Sitarz and NEDECO showed that the coastline of the Republic of Benin departs at a speed of 10-15 m per year. During storms of exceptional strength, the coastline retreats in some places to 20 m. The impact of waves on the coastline is not uniform. There are points of concentration of wave impacts, which lead to large disruptions. The construction of protective structures does not bring the desired effect. Changing the coast configuration weakens the wave strokes in part. The construction of protective structures displaces the points of concentration of wave strikes. modeling and forecasting is necessary for effective protection against waves. The system of measures is necessary for effective protection against abrasion. Geodetic support is the basis of such a system. The work provides an analysis of the situation and suggests measures to monitor the coastline. The paper offers thickening of the network, installation of identifiers in two zones. Shooting with unmanned aerial vehicles is the basis for monitoring and monitoring the shoreline.

Keywords: Abrasion, geodetic support, wave beats, concentration points, network thickening, small carrier survey, monitoring, coastline, dynamic model.

© Коллектив авторов, 2018

РАЗВИТИЕ «БИЗНЕС ГЕОДЕЗИИ»

Ознамец В.В.

Московский государственный университет геодезии и картографии

E-mail: voznam@bk.ru

Аннотация. Статья описывает развитие нового научного и технологического направления «бизнес геодезии». «бизнес геодезия» возникла на основе интеграции пространственных технологий и методов управления. «бизнес геодезия» возникла как средство решения новых задач и средство повышения эффективности бизнеса. «бизнес геодезия» развивается вследствие роста применения пространственной информации при решении управленческих и экономических задач. Применение «бизнес геодезии» включает ряд технологий, из которых следует выделить такие как: контроль за состоянием объектов, обеспечение строительных работ, обеспечение кадастра, обеспечение устойчивого развития территорий. Пространственная информация, получаемая с помощью геодезических технологий и методов, связывает потребителей и бизнес. Пространственная информация служит основой управления и планирования. Термин «бизнес геодезия» может быть рассмотрен как область практических технологий, комплекс услуг и комплекс пространственного анализа для решения задач бизнеса и принятия решений. Перемещение в пространстве и определение местоположения в пространстве - является важной частью повседневной жизни и экономической деятельности. Ключевой частью этого процесса является способность точного определения местоположения в пространстве. Пространственная экономика тесно связана с «бизнес геодезией». Основой пространственной экономики является учет и использование пространственной информации, также распределение экономических факторов в пространстве. Бизнес геодезия имеет технологическую и программную поддержку. В сфере программного обеспечения «бизнес геодезию» связывают со специальными типами программного обеспечения работы с пространственной информацией. Бизнес геодезия решает задачи по размещению станций объектов, включая станции мобильной связи. «бизнес геодезия» широко применяется в практической деятельности. Хотя в явной форме это направление не всегда выделяют. «бизнес геодезия» решает локальные и глобальные задачи. К глобальным задачам относится задача устойчивого развития региона, территории и государства в целом. Основными видами информации «бизнес геодезии» является пространственная и экономическая информация. Чисто геодезические работы не входят в сферу «бизнес геодезии». Пространственная информация связывает бизнесменов и потребителей через специальные службы, например на основе определения местоположения. Эти задачи решают с помощью мобильных устройств с электронными картами и другими данными. Электронные карты и цифровые модели позволяют связать потребителей с местными услугами, такими как транспорт, медицина, магазины, рестораны и пр. Пространственная информация служит основой управления и планирования. Пространственная информация используется в управлении через геодезические технологии, информационные технологии и геоинформационные технологии. В настоящее время существует объективное противоречие между потребностью в пространственной информации со стороны практики и неспособностью существующих органов управления получать и применять пространственную информацию. «бизнес геодезия» должна восполнить этот пробел. Рассматривая пространственную информацию, как основу для принятия управленческих решений, можно классифицировать ее основные виды. Классификация пространственной информации позволяет выделять задачи «бизнес геодезии» и эффективно решать их. Статья показывает реализацию «бизнес геодезии» в кадастре, геомаркетинге и Гео-сервисе.

Ключевые слова: Геодезия, пространственная информация, управление, «бизнес геодезия», геоинформатика, геоданные, геомаркетинг, кадастр.

Введение

Интеграция технологий и науки, характерная для XX-XXI века привела к появлению ряда направлений, таких как: бионика, генная инженерия, биоинформатика, бизнес информатика, «бизнес геодезия» и других. Сочетание

слов «бизнес геодезия» отражает интеграцию экономических и геодезических методов, как средства решения новых задач, которые возникают в реальной практике [1]. Термином «бизнес геодезия» обозначают широкий спектр услуг, связанный с использованием

геодезических технологий для экономического анализа и ведения бизнеса. Такое направление возникло, в первую очередь, благодаря возрастанию значения пространственной информации для решения управленческих и экономических задач [2-6]. Направление «бизнес геодезия» возникло не как «желание», а как объективная необходимость решения практических задач и ведения бизнеса. Применение «бизнес геодезии» включает: контроль за состоянием объектов, обеспечение строительных работ, обеспечение кадастра, обеспечение устойчивого развития территорий. Пространственная информация, получаемая с помощью геодезических технологий и методов, связывает потребителей и бизнес. Пространственная информация служит основой управления и планирования. Термин «бизнес геодезия» может быть рассмотрен как область практических технологий, комплекс услуг и комплекс пространственного анализа для решения задач бизнеса и принятия решений. Термин «бизнес геодезия» с прагматической точки зрения охватывает ряд услуг, которые используют пространственную информацию и геоданные. «бизнес геодезия» оперирует специфическими наборами данных: данные геодезических построений, спутниковые снимки, кадастровые документы, планы, цифровые карты, цифровые модели, пространственные данные мониторинга, виртуальную и дополненную реальность, методы определения местоположения. Многие услуги «бизнес геодезии» используют для содействия планированию поездок и путешествий, а также для поиска различных мест. Перемещение в пространстве и определение местоположения в пространстве - является важной частью повседневной жизни и экономической деятельности. Ключевой частью этого процесса

является способность точного определения местоположения в пространстве. Пространственная экономика тесно связана с «бизнес геодезией» [7-9]. Основой пространственной экономики является учет и использование пространственной информации, также распределение экономических факторов в пространстве. Бизнес геодезия имеет технологическую и программную поддержку. В сфере программного обеспечения «бизнес геодезия» связывают со специальными типами программного обеспечения работы с пространственной информацией. Бизнес геодезия решает задачи по размещению станций объектов, включая станции мобильной связи. «бизнес геодезия» широко применяется в практической деятельности. Хотя в явной форме это направление не всегда выделяют. «бизнес геодезия» решает локальные и глобальные задачи. Локальные задачи «бизнес геодезии» связаны с развитием отдельных предприятий и выполнением геодезических работ на небольших территориях. К глобальным задачам относится задача устойчивого развития региона, территории и государства в целом.

Пространственная информация как основа «бизнес геодезии»

Пространственные данные различного содержания необходимы для широкого круга потребителей из различных сфер производственной и административной деятельности [3, 4]. Они играют важную роль в задачах экономического, политического и экологического развития на разных уровнях. Они играют важную роль в задачах укрепления межрегиональных и международных связей.

Пространственная информация все чаще связывает бизнесменов и потребителей через специальные службы, например на основе

определения местоположения [10]. Эти задачи решают с помощью мобильных устройств с электронными картами и другими данными. Они позволяют связать потребителей с местными услугами, такими как транспорт, медицина, парикмахерские и кафе и пр. Пространственная информация служит основой управления и планирования

Пространственная информация используется в управлении через информационные технологии и геоинформационные технологии [11]. Значение пространственной информации привело к тому, что возникло объективное противоречие между потребностью в пространственной информации со стороны практики и неспособностью существующих органов управления получать и применять пространственную информацию. Рассматривая пространственную информацию, как основу для принятия управленческих решений, можно классифицировать ее основные виды, опуская слово «пространственная»:

1. Информация для позиционирования объектов.
2. Информация для размещения объектов и решения задач оптимизации на этой основе.
3. Информация для расчета площади, объемов и стоимости работ на этой основе.
4. Информация, применяемая для расчета расстояний и стоимости перевозки на этой основе.
5. Информация для описания пространственной ситуации.
6. Информация для оценки недвижимости.
7. Информация для учета и ведения кадастра.
8. Информация для мониторинга земель.
9. Информация для городского планирования.
10. Информация для развития

транспорта.

К первой группе относится координатная информация отдельного объекта. Координаты местоположения объекта на земной поверхности – это его неотъемлемый атрибут, который определяет его административную и региональную принадлежность.

Ко второй группе относится координатная информация совокупности близкорасположенных объектов и координатная информация ситуации вокруг этих объектов.

К третьей группе относится геометрическая информация, которая описывает реальные существующие объекты и объекты, проектируемые для строительства.

К четвертой группе относится информация, применяемая при управлении и оценке объектов недвижимости, земельных участков, жилых и нежилых сооружений и т.п.

К пятой группе относится информация, применяемая в логистике и сфере транспортных услуг, а также при развитии городских территорий.

К шестой группе относится информация, картографического характера, применяемая при муниципальном и региональном управлении.

К седьмой группе относится информация, описывающая пространственную ситуацию, влияющую на стоимость объекта недвижимости

К восьмой группе относится информация, применяемая для учета и ведения кадастра. Эта информация наиболее регламентирована и отработана.

К девятой группе относится информация, описывающая тип, качество и состояние земель.

Одним из факторов использования пространственной информации является эффект от распределения качественных и количественных

экономических характеристик в зависимости от места позиционирования. В этих случаях говорят о пространственно распределенной информации и пространственных отношениях. Наиболее эффективным инструментом анализа этого фактора являются методы геоинформатики. В геоинформатике для описания пространственной информации применяют геоданные [12-14] и модели, построенные на их основе. Эти модели позволяют эффективно учитывать пространственную зависимость социально-экономической информации при управлении, производстве и в бизнесе.

Гео-сервис как часть «Бизнес геодезии»

Гео-сервис в узком смысле можно рассматривать как одно из направлений «бизнес геодезии». В различных формах бизнеса существует сфера услуг. В «бизнес геодезии» эту сферу услуг реализует Гео-сервис [15-17]. В настоящее время термином «Гео-сервис» обозначают не только широкий спектр услуг, но и большое число компаний, имеющих название «Geoservices». При этом следует отметить следующую особенность. Термином «бизнес геодезия» обозначают сферу деятельности, исключая широкое применение методов геоинформатики и методов дистанционного зондирования. Термином Гео-сервис обозначают многие виды деятельности, в том числе включающие приложения геоинформатики. Это обусловлено тем, что «Гео-сервис» является более общим понятием, включающим геодезию, геоинформатику, геологию, кадастр, дистанционное зондирование и прочее. «бизнес геодезия» отражает часть Гео-сервиса, связанную с геодезическими работами. Поэтому говоря о связи бизнес геодезии с Гео-сервисом, следует

иметь в виду ту часть Гео-сервиса, которая связана с геодезической деятельностью. Услуги по проведению изысканий, по геодезическому обеспечению строительства, по геодезическому обеспечению транспорта - относятся к «бизнес геодезии» и Гео-сервису.

«Бизнес геодезия» и кадастровые работы

Кадастр одной из своих основных функций имеет сбор налога с объектов недвижимости. Кадастровая система включает метрические и юридические данные. Эти данные используют при налогообложении и при регистрации юридических прав. Кадастровые системы являются открытыми системами для контроля и учета. Функционально выделяют три типа кадастров: правовой; фискальный; многоцелевой (планирование и землепользование). Выделяют этапы работ в кадастре недвижимости: геодезическая съемка, инвентаризация; классификация объектов недвижимости; оценка стоимости; определение собственников и налогоплательщиков. На большинстве этапов применяются «бизнес геодезия».

«бизнес геодезия» в кадастре реализуется в трех основных направлениях. Первое направление связано с геодезическим обеспечением кадастровых работ. Второе направление связано с разрешением споров о земельной принадлежности и площади земельных участков. Третье направление связано с оценкой стоимости объектов недвижимости на основе их геодезического измерения и последующей оценкой их стоимости. Четвертое направление связано со сбором налогов с земельных участков и иных объектов недвижимости, для чего необходимо проводить геодезические работы.

Кадастр как технология может

быть информационной геодезической и бизнес технологией. Земля является базисом для развития многих видов бизнеса. Отсюда земельный кадастр является базисным для многих видов бизнеса. Без геодезического обеспечения кадастр невозможен. Поэтому геодезические работы в кадастре можно относить к области «бизнес геодезии».

«Бизнес геодезия» и геомаркетинг

Геомаркетинг является частью «бизнес геодезии» [18]. Современное развитие рыночных отношений основано на получении информации о состоянии и развитии рынка, эффективных методах анализа информации и применении этой информации при: управлении, производстве и потреблении, инвестировании, развитии региональных образований. Развитие рыночных отношений основано на использовании пространственной информации и применении геоинформационных и геодезических технологий для интенсификации экономики и развития производства. Одной из пространственных бизнес технологий является геомаркетинг. Он является не только технологией, но и концепцией рыночного ведения хозяйства и управления на основе пространственных данных. Как технология геомаркетинг является информационной технологией, возникшей на основе интеграции технологий классического маркетинга, геодезических и геоинформационных технологий. В геомаркетинге геодезические и геоинформационные технологии интегрированы. Геодезические технологии являются основой для получения геоданных и последующей геоинформационной обработки. Эту интеграцию можно обозначить термином пространственные бизнес технологии.

Пространственные бизнес технологии проникает в сферу бизнеса. Согласно GIS STRATEGIES, ежеквартально обзору мирового рынка геоинформационных систем (ГИС) американской компании Dataquest и журнала GIS Word, проникновение ГИС в бизнес происходит быстрее, чем в большинство других областей их применения. Преимущества пространственных бизнес технологий перед другими технологиями кратко могут быть сформулированы в виде следующих положений:

- возможность глобальной интеграции различных данных и создания информационных систем разного уровня управления (отдельная фирма, корпорация, регион, отрасль, государство, транснациональная корпорация)
- возможность использования новых видов информации, недоступных для обработки в других технологиях: космическая съемка, лазерное зондирование, аэрокосмический мониторинг, разведка природных ресурсов, прогноз урожайности, анализ транспортных сетей - методами дистанционного зондирования Земли;
- управление проектами создания, развития и контроля объектов большой протяженности (свыше 20 км), что недоступно, например технологиям САПР;
- использование рынка данных дистанционного зондирования (ранее применявшегося только в военных целях и закрытого для рядовых пользователей и стран третьего мира) для практической деятельности;
- обеспечение визуального анализа статистической информации (на порядок более оперативного по сравнению с обычным анализом табличных данных) с привязкой его к региональным образованиям и структурам;

- упрощенной визуализации статистических и картографических данных в виде деловой графики;
- организация прямой связи между базами данных и графическим отображением информации, хранимой в них;
- возможность использования всех технологий анализа, применяемого в менеджменте, маркетинге и статистике, дополненная визуальными методами анализа информации.

Пространственные технологии в бизнесе решают следующие задачи:

- Анализ и отслеживание текущего состояния и тенденций изменения рынка;
- Планирование деловой активности;
- Оптимальный выбор местоположения новых филиалов фирм или банка, торговых точек, складов, производственных мощностей;
- Поддержка принятых решений с использованием геоданных;
- Выбор оптимальных маршрутов перевозок и путей распределения продукции;
- Анализа риска материальных вложений в объекты недвижимости и регулирование разногласий;
- Демографические исследования, проводимые в целях определения спроса на продукцию;

За последнее десятилетие в США и других странах появилась многочисленная группа компаний, специализирующихся на консультационном обслуживании бизнеса. Они выполняют по заказам аналитические маркетинговые исследования на базе пространственных данных и инфраструктуры пространственных данных [21-23]. В России геомаркетинговые технологии эффективно применяются в нефтегазовой отрасли, при экологическом мониторинге, при

исследовании природных ресурсов, при развитии транспортных сетей. Конечная цель геомаркетинга – наилучшее удовлетворение потребностей и запросов покупателей и клиентов, процветание фирмы и ее стабильно высокая конкурентоспособность. Все это определяет важность умения работать и применять геомаркетинг в современном обществе.

Геоинформационные технологии являются одними из современных и наиболее интегрированных новых информационных технологий. В силу этого геоинформационные технологии являются технологической основой реализации информационного маркетинга и создания на его основе геомаркетинга. Геомаркетинг является одним из неотъемлемых составляющих «бизнес геодезии».

Заключение

Перемещение в пространстве и определение местоположения в пространстве – является важной частью человеческой жизни и экономической деятельности. Ключевой частью этого процесса является способность точного определения местоположения в пространстве. «бизнес геодезия» является связующим фактором между реальным пространством и различными видами деятельности человека в этом пространстве, включая поездки и производство. Со времен первых кругосветных путешествий навигация служила основой координирования и перевозки товаров. Современная навигация опирается на спутниковую навигацию, радиорелейные линии. Бизнес геодезия имеет технологическую, информационную и программную поддержку. В сфере программного обеспечения «бизнес геодезию» связывают со специальными типами программного обеспечения работы с пространственной информацией. Бизнес геодезия решает

задачи по размещению станций объектов, включая станции мобильной связи. «бизнес геодезия» широко применяется в практической деятельности. Хотя в явной форме это направление не всегда выделяют. Особенность «бизнес геодезии», как и Гео-сервиса, в том, что она является промежуточным звеном в цепочке создания ценностей. Часто ее участие не видно в явном виде и его трудно оценить прямыми расчетами. Однако, точно также как земельный кадастр является основой других видов бизнеса, «бизнес геодезия» является основой многих отраслей и видов деятельности.

Литература

1. Ознамец В.В., Цветков В.Я. «бизнес геодезия»: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2018. – 112с. ISBN 978-5-317-05825-8.
2. Ожерельева Т.А. Системный анализ пространственной инновации // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2013, - №12 - с.116-120.
3. Бахарева Н.А. Пространственная информация в региональном и муниципальном управлении // Государственный советник. - 2013. - №4. - с39-42.
4. Маркелов В.М. Пространственная информация как фактор управления // Государственный советник. - 2013. - №4. - с34-38.
5. Розенберг И.Н. Пространственное управление в сфере транспорта // Славянский форум, 2015. - 2(8) - с.268-274.
6. Стоева Д. Р. Пространственные аспекты туристического маркетинга // Славянский форум, 2015. - 3(9) - с.277-281.
7. Маркелов В.М. Логистика и пространственная экономика // Славянский форум. - 2013. - 1(3). - с.91-95.
8. Tsvetkov V. Ya. Spatial Relations Economy // European Journal of Economic Studies 2013, Vol.(3), № 1 p.57-60.
9. Романов И.А. Состояние пространственной экономики // Славянский форум. - 2013. - 1(3). - с.110-115.
10. Докукин П.А., Кафтан В.И. Непрерывные GPS/ГЛОНАСС измерения коротких базовых линий для выявления предвестников сильных землетрясений // Геодезия и картография. 2006. №2. С. 7-11.
11. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии - М.: Финансы и статистика, 1998. -288с.
12. Омельченко А. С. Геоданные как инновационный ресурс // Качество, инновации, образование. - 2006. - №1. - с.12- 14.
13. Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоданные как системный информационный ресурс // Вестник Российской Академии Наук, 2014, том 84, № 9, - с.826-829.
14. Кудж А.С. Сбор и измерение геоданных в науках о Земле// Славянский форум. - 2013. - 2(4). - с.135-139.
15. . <http://geoservices.github.io/> дата доступа 12.05. 2018
16. <https://www.alarm.com/dealerbranding/v2/demo/geoservices.html> дата доступа 12.05. 2018.
17. Цветков В.Я. Развитие гео-сервиса // Науки о земле. - 2017. - №4. - с 31-42.
18. Тымченко Е. В. Организация данных в геомаркетинге // Перспективы науки и образования- 2014. - №6. - с.160-165.
19. Цветков В.Я. Геомаркетинг: Прикладные задачи и методы. - М.: Финансы и статистика, 2002. - 240с.
20. Стоева Д.Р. Применение метода предпочтений в геомаркетинге // Перспективы науки и образования. - 2016. - №1. - с.58-61.
21. Савиных В.П., Соловьёв И.В., Цветков В.Я. Развитие национальной инфраструктуры пространственных

данных на основе развития картографо-геодезического фонда Российской Федерации // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка.- 2011.- №5. - с.85-91.

22. Майоров А.А Развитие инфраструктуры пространственных данных // Науки о Земле № 2-3, 2013 – с 63-68.
23. Матчин В.Т. Состояние и развитие инфраструктуры пространственных данных // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №1(9). – с.137-144.

References

1. Oznamec V.V., Tsvetkov V.Ya. Biznes geodeziya: Monografiya. – Moskva.: MAKSS Press, 2018. – 112s. ISBN 978-5-317-05825-8.
2. Ozhereleva T.A. Sistemnyj analiz prostanstvennoj innovacii // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij. - 2013, - №12 - s.116-120.
3. Bahareva N.A. Prostranstvennaya informaciya v regionalnom i municipalnom upravlenii // Gosudarstvennyj sovetnik. – 2013. - №4. – s39-42.
4. Markelov V.M. Prostranstvennaya informaciya kak faktor upravleniya // Gosudarstvennyj sovetnik. – 2013. - №4. – s34-38.
5. Rozenberg I.N. Prostranstvennoe upravlenie v sfere transporta // Slavyanskij forum, 2015. - 2(8) - s.268-274.
6. Stoeva D. R. Prostranstvennye aspekty turisticheskogo marketinga // Slavyanskij forum, 2015. - 3(9) - s.277-281.
7. Markelov V.M. Logistika i prostranstvennaya ekonomika // Slavyanskij forum. - 2013. - 1(3). - s.91-95.
8. Tsvetkov V. Ya. Spatial Relations Economy // European Journal of Economic Studies 2013, Vol.(3), № 1 p.57-60.
9. Romanov I.A. Sostoyanie prostranstvennoj ekonomiki // Slavyanskij forum. - 2013. - 1(3). - s.110-115.
10. Dokukin P.A., Kaftan V.I. Nepreryvnye GPS/GLONASS izmereniya korotkih bazovyh linij dlya vyyavleniya predvestnikov silnyh zemletryasenij // Geodeziya i kartografiya. 2006. №2. С. 7-11.
11. Tsvetkov V.Ya. Geoinformacionnye sistemy i tehnologii - M.: Finansy i statistika, 1998. - 288s.
12. Omelchenko A. S. Geodannye kak innovacionnyj resurs // Kachestvo, innovacii, obrazovanie. - 2006. - №1. - s.12- 14.
13. Savinyh V.P., Tsvetkov V.Ya. Geodannye kak sistemnyj informacionnyj resurs // Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk, 2014, tom 84, № 9, - s.826–829.
14. Kudzh A.S. Sbor i izmerenie geodannyh v naukah o Zemle// Slavyanskij forum. - 2013. – 2(4). - s.135-139.
15. . <http://geoservices.github.io/> data view 12.05. 2018
16. <https://www.alarm.com/dealerbranding/v2/demo/geoservices.html> data view 12.05. 2018.
17. Tsvetkov V.Ya. Razvitie geo-servisa // Nauki o zemle. - 2017. - №4. – s 31-42.
18. Tymchenko E. V. Organizaciya dannyh v geomarketinge // Perspektivy nauki i obrazovaniya- 2014. - №6. – s.160-165.
19. Tsvetkov V.Ya. Geomarketing: Prikladnye zadachi i metody. - M.: Finansy i statistika, 2002. - 240s.
20. Stoeva D.R. Primenenie metoda predpochtenij v geomarketinge // Perspektivy nauki i obrazovaniya. - 2016. - №1. - s.58-61.
21. Savinyh V.P., Solovyov I.V., Tsvetkov V.Ya. Razvitie nacionalnoj infrastruktury prostanstvennyh dannyh na osnove razvitiya kartografo-geodezicheskogo fonda Rossijskoj Federacii // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geodeziya i aérofotozemka.- 2011.- №5. - s.85-91.
22. Majorov A.A Razvitie infrastruktury prostanstvennyh dannyh // Nauki o Zemle № 2-3, 2013 – s 63-68.
23. Matchin V.T. Sostoyanie i razvitie infrastruktury prostanstvennyh dannyh // Obrazovatelnye resursy i tehnologii. – 2015. - №1(9). – s.137-144.



DEVELOPMENT OF "BUSINESS GEODESY"

Oznamets V.V.

Moscow State University of Geodesy and Cartography

E-mail: voznam@bk.ru

Abstract: *The article describes the development of a new scientific and technological direction of business geodesy. Business geodesy arose on the basis of integration of spatial technologies and management methods. Business geodesy has emerged as a means of solving new problems and a means of increasing business efficiency. Business geodesy is developed due to the growing use of spatial information in solving management and economic problems. Business geodesy includes a number of technologies, of which it should be singled out: monitoring the state of facilities, providing construction work, providing cadastre, ensuring sustainable development of the territories. Spatial information, obtained with the help of geodetic technologies and methods, connects consumers and business. Spatial information serves as the basis for management and planning. The term "business geodesy" can be considered as a field of practical technologies, a complex of services and a complex of spatial analysis for solving business problems and making decisions. Moving in space and locating in space is an important part of daily life and economic activity. A key part of this process is the ability to accurately determine the location in space. Spatial economics is closely related to business geodesy. The basis of the spatial economy is the accounting and use of spatial information, as well as the distribution of economic factors in space. Business geodesy has technological and programmatic support. Business geodesy has special software. Business geodesy is associated with special types of software. This software uses spatial information. Business geodesy solves the problem of placing objects, including mobile stations. Business geodesy is widely used in practice. The direction of business geodesy is not always highlighted explicitly. Business geodesy solves local and global problems. Global challenges include sustainable development of the region, development of the territory and development of the state. The main types of business geodesy information are spatial and economic information. Purely geodetic work is not included in the scope of business geodesy. Spatial information links businessmen and consumers through special services, for example, based on location. Communication tasks are solved using mobile devices with electronic maps and other data. Electronic maps and digital models allow consumers to connect with local services such as transport, medicine, shops, restaurants, etc. Spatial information serves as the basis for management and planning. Spatial information is used in management through geodetic technologies, information technologies and geoinformation technologies. At present, there is an objective contradiction between the need for spatial information and its acquisition. Existing management bodies can not provide consumers with the necessary spatial information. Business geodesy fills this gap. Spatial information must be classified to make management decisions. Classification of spatial information allows you to distinguish the tasks of business geodesy and effectively solve them. The article describes the implementation of business geodesy in the cadastre, geomarketing and geo-service.*

Keywords: *Geodesy, spatial information, management, business geodesy, geoinformatics, geodata, geomarketing, cadastre.*

© Коллектив авторов, 2018