

№ 1/2020

IN THE ISSUE:

A 3D MODEL OF THE DEEP STRUCTURE AND PALEOPROTEROZOIC EVOLUTION OF THE TRANS-HUDSON OROGEN, NORTH AMERICA, IN COMPARISON WITH THE PALEOPROTEROZOIC OROGENS OF THE EAST EUROPEAN



PRIMARY NATURE OF NEORHEAN ROCKS WITH CLASTIC TEXTURES (KOLA REGION OF THE NORTH-EASTERN PART OF THE FENNOSCANDINAVIAN SHIELD)



STUDY OF LINEARLY EXTENDED ZONE OF SOUTHERN CASPIAN SEA AND ZAGROSSKY OVERLAP FAULT ON THE BASIS OF THE GEOLOGO-GEOPHYSICAL DATA

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)

РЕДАКЦИЯ / TECHNICAL BOARD**Петр Докукин / Peter Dokukin****Владимир Кафтан / Vladimir Kaftan****Гаик Атмачьян / Gaik Atmachyan****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 / Vasiliy 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

Академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук,
профессор (Россия) / Academician of RAS, Doctor of Agriculture
Science (Russia)

Виктор Савиных / Victor Savinykh

Академик РАН, доктор технических наук, профессор (Россия)
/ Academician 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)

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	
Минц М.В., Докукина К.А., Афонина Т.Б. 3D модель глубинного строения и палеопротерозойская эволюция Транс-Гудзонского орогена, Северная Америка, в сравнении с палеопротерозойскими орогенами Восточно-Европейского кратона / Mints M.V., Dokukina K.A., Afonina T.B. A 3d Model of The Deep Structure and Paleoproterozoic Evolution of the Trans-Hudson Orogen, North America, in Comparison with the Paleoproterozoic Orogens of the East European Craton	004
Пожиленко В.И. Первичная природа неархейских пород с обломочными текстурами (Кольский регион Северо-Восточной части Фенноскандинавского щита) / Pozhilenko V.I. Primary Nature of Neorhean Rocks with Clastic Textures (Kola Region of the North-Eastern Part of the Fennoscandinavian Shield)	026
Асланов Б.С., Худузаве А.И., Асланзаде Ф.Б., Асгерова Р.А. Исследование Южного Каспия и Загросского надвига на основе геолого-геофизических данных / Aslanov B.S., Khuduzadeh A.I., Aslanzade F.B., Asgerova R.A. Study of Linearly Extended Zone of Southern Caspian Sea and Zagrosky Overlap Fault on the Basis of the Geologo-Geophysical Data	036
ГЕОДЕЗИЯ / GEODESY	
Дементьев Д.В. Вертикальная рефракция в приземном слое атмосферы и метод её точного определения / Dementyev D.V. Vertical Refraction in the Surface Layer of the Atmosphere and the Method of it's Accurate Determination	046
ГЕОИНФОРМАТИКА / GEOINFORMATICS	
Болбаков Р.Г. Оверлей анализ в геоинформатике / Bolbakov R.G. Overlay Analysis in Geoinformatics	059
Дышленко С.Г. Когнитивное моделирование в геоинформатике / Dyushlenko S.G. Cognitive Modeling in Geoinformatics	068
Цветков В.Я. Пространственная логика в геоинформатике / Tsvetkov V.Ya. Spatial Logic in Geoinformatics	080
Андреева О.А. Геоинформационное проектирование объектов транспортной инфраструктуры / Andreeva O.A. Geoinformational Design of Transport Infrastructure Objects	091
ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО И КАДАСТРЫ / LAND USE PLANNING AND CADASTRE	
Иванов Н.И., Сорогин А.С. Подходы к совершенствованию методики землеустроительного проектирования в системе агропромышленного комплекса на основе консолидации земель / Ivanov N.I., Sorogin A.S. Approaches to Improving Methods of Land Management Design in the System of Agro-Industrial Complex Based on Land Consolidation	100

3D МОДЕЛЬ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ И ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ТРАНС-ГУДЗОНСКОГО ОРОГЕНА, СЕВЕРНАЯ АМЕРИКА, В СРАВНЕНИИ С ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИМИ ОРОГЕНАМИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОГО КРАТОНА

Минц М.В.

Докукина К.А.

Афонина Т.Б.

Геологический институт РАН, Россия

E-mail: michael-mints@yandex.ruE-mail: dokukina@mail.ruE-mail: afoninatoma@yandex.ru

Аннотация Интерпретация новых геофизических данных, характеризующих глубинное строение крупных регионов (Программа ЛИТОПРОБА, Канада; проект FIRE, Финляндия; проект 1-ЕВ, Россия), предполагает получение усовершенствованных моделей строения и эволюции докембрийской литосферы. В качестве одного из первых шагов в направлении совместного анализа этих данных с опорой на методические решения, полученные при исследовании Восточно-Европейского композитного кратона по проектам 1-ЕВ и FIRE, разработана объемная модель палеопротерозойского Транс-Гудзонского орогена на Канадском щите. Глубинное строение западной части орогена подобно строению зоны палеопротерозойских осадочно-вулканогенных поясов, протянувшейся вдоль восточной окраины Карельского кратона. Эта часть орогена была сформирована в условиях рифтинга, сопровождавшегося накоплением мощной эпиконтинентальной вулканогенно-осадочной толщи, которая подверглась высокотемпературному метаморфизму совместно с архейским основанием. Некоторые из рифтов были преобразованы в узкие короткоживущие океаны. Глубинное строение восточной части Транс-Гудзонского орогена подобно строению Свекофеннского аккреционного орогена: структуры коры и коро-мантийной границы указывают на разрыв континентальной области, формирование океана и его последующее закрытие с участием серии зон субдукции, функционировавших близко по времени или одновременно.

Ключевые слова: Транс-Гудзонский ороген, 3D геолого-геофизическая модель, Lithoprobe, FIRE, 1-ЕВ, Свекофеннский ороген, Карельский кратон, сейсмические образы коры.

1. Введение

Современные знания о строении и эволюции докембрийских кратонов значительно расширились в недавние годы благодаря интенсивным исследованиям глубинного строения коры архейских кратонов: завершена Программа ЛИТОПРОБА (LITHOPROBE) для Северо-Американского композитного кратона [Cook et al., 2010; Hammer et al., 2010; Percival et al., 2012], исследования по российскому проекту 1-ЕВ [Mints et al., 2015] и по финскому проекту FIRE [Kukkonen, Lahtinen, 2006] для Восточно-Европейского композитного кратона. Совместная интерпретация новых геофизических данных предполагает обоснование принципиально новых моделей строения и эволюции докембрийской литосферы. В качестве одного из шагов в названном направлении выполнена интерпретация геофизических данных программы ЛИТОПРОБА по палеопротерозойскому Транс-Гудзонскому орогену (ТГО) с оп-

рой на методические решения, полученные при исследовании Восточно-Европейского композитного кратона. В статье проанализированы и сопоставлены особенности глубинного строения ТГО, архейского Карельского кратона, подвергшегося тектоно-термальной переработке в палеопротерозое, (проект 1-ЕВ) и палеопротерозойского Свекофеннского аккреционного орогена (проект FIRE).

2. Модели геологической среды и коро-мантийной границы, соотношения скоростной-плотностной и сейсмо-геологической моделей

Предваряя статью, следует обратиться к соотношению понятий «раздел Мохо» и «коро-мантийная граница». Многие исследователи считают термины «коро-мантийная граница» и «раздел Мохо» синонимами. Между тем, понятия «Мохо» («раздел Мохо») и «коро-мантийная граница» совпадают лишь частично [Glaznev et al., 2015]. Мохо – это

геофизический образ поверхности планетарного ранга, при пересечении которой скорость продольных волн более или менее скачкообразно возрастает с 6.9-7.4 до 8.0-8.2 км/сек. Эта поверхность приблизительно следует нижней границе земной коры. В свою очередь, «коро-мантийная граница» – это комплексный геолого-геофизический феномен, совмещающий характеристики состава, уровня метаморфизма и механических свойств горных пород земной коры и мантии в пограничной области, а также структурные особенности границы между ними. Структурные особенности коро-мантийной границы охарактеризованы сейсмическими образами коры (картинами сейсмических отражений). Коро-мантийная граница, как правило, проявлена достаточно отчетливо по смене умеренно или интенсивно отражающей нижней коры акустически прозрачной мантийной областью. В некоторых случаях нижняя кора полупрозрачна, при этом коро-мантийная граница как бы исчезает, хотя раздел Мохо по данным преломленных волн вполне отчетлив [White et al., 2005; Kukkonen, Lahtinen, 2006; Cook et al., 2010; Mints et al., 2015].

Сейсмические образы коры докембрийских кратонов, полученные методом отраженных волн, демонстрируют широкие вариации структурных особенностей коры и определяющую роль наклонных поверхностей раздела (сейсмо-геологические модели коры). Нижняя кора обычно отождествляется с зоной рефлексивити, то есть с зоной многократных интенсивных субгоризонтальных отражений, которая непосредственно, хотя далеко не повсеместно, перекрывает коро-мантийную границу [Mooney, Meissner, 1992]. Наиболее популярна в качестве геологического образа зоны рефлексивити модель «расслоенной нижней коры», которая формируется в условиях растяжения, сопровождаемого послойными интрузиями мафитовых мантийных магм [Holliger,

Levander, 1994]. С контактами коры и мафитовых интрузивов связывают контрасты акустической жесткости.

В скоростной-плотностной модели субгоризонтально расслоенной коры, получаемой методом преломленных волн, подчеркивается отсутствие или слабость взаимосвязей между наблюдаемыми на дневной поверхности геологическими структурами и глубинными «слоями». Напротив, геологические разрезы коры, опирающиеся на картины сейсмических отражений, удается надежно объединить с геологическим картами [Glaznev et al., 2015; Mints et al., 2015, 2020; Mints, 2017]. Объемные модели коры и коро-мантийной границы благодаря тесной увязке сейсмо-геологических объектов в глубинах коры и латеральных вариаций в строении коро-мантийной границы с горными породами на дневной поверхности образовали принципиально новую базу для обсуждения глубинного строения, геодинамических обстановок и событий в истории формирования кратонов.

3. Региональная геология, главные события в истории формирования Транс-Гудзонского орогена

Согласно модели «Соединенных Плит Америки» [Hoffman, 1988], наиболее важным событием в истории возникновения Северо-Американского композитного кратона явилось произошедшее между 2.00 и 1.78 млрд лет назад объединение архейских кратонов Слейв, Рэй, Херн, Сьюпириор, Северо-Атлантического, Саск и Вайоминг, которое сопровождалось формированием коллизионных орогенов Талтсон-Телон, Сноуберд, Фокс, Транс-Гудзон, Кейп-Смит, Торнгат, Нью-Квебек и Пенокеан (рис. 1). Согласно [Hoffman, 1990], термин «Транс-Гудзонский ороген» (ТГО) соответствует палеопротерозойской тектонической провинции к западу от кратона Сьюпириор, которая позже была обозначена как «Зона Рейндир» [Lewry, Collerson, 1990].

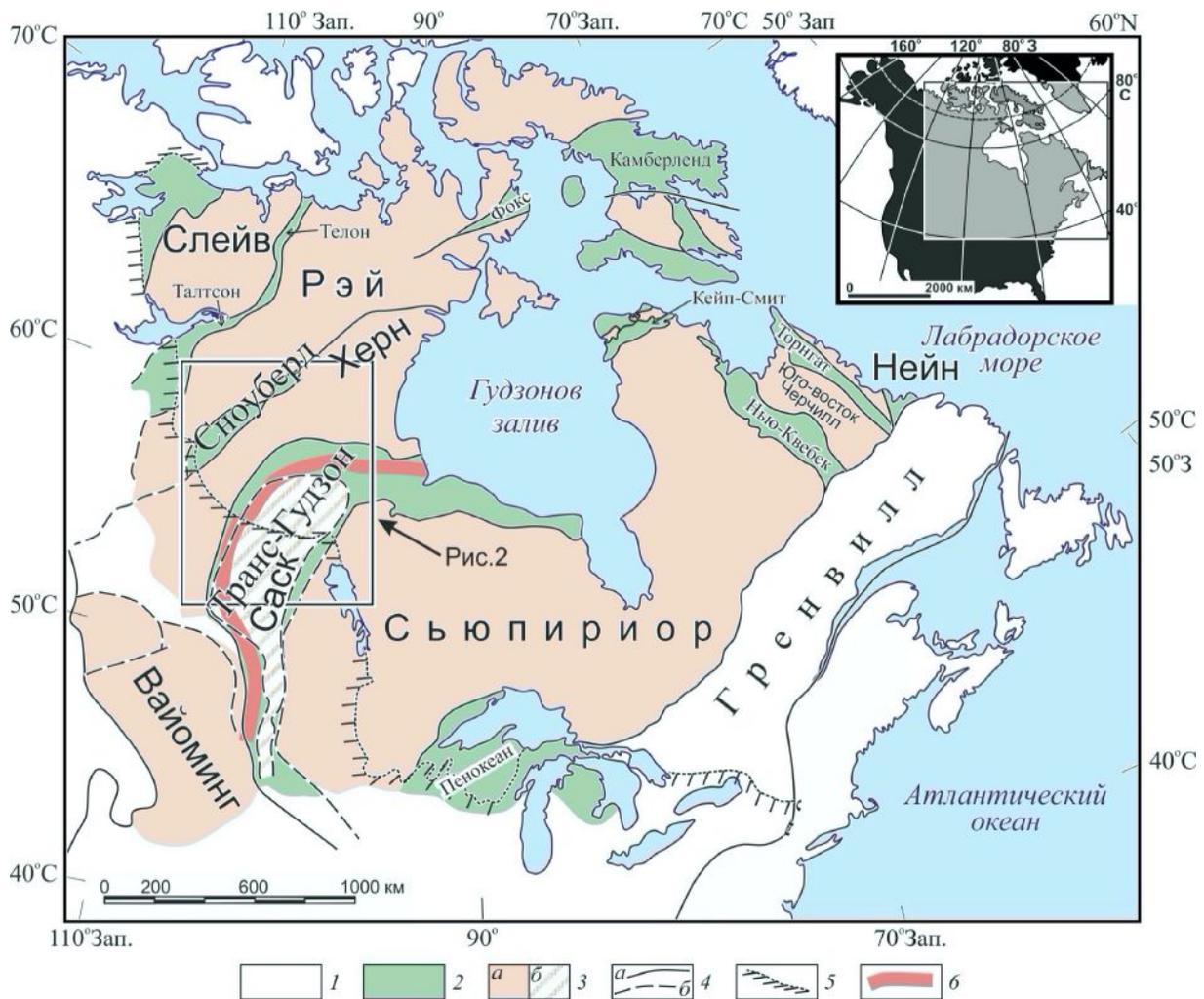


Рис. 1. Ранне-докембрийская кора Северо-Американского кратона: тектоническое районирование (по [Mints, 2017], с небольшими изменениями): 1 – пост-палеопротерозой; 2 – палеопротерозой; 3 – архейские кратона: а – в обрамлении Транс-Гудзонского орогена, б – кратон Саск во внутренней области Транс-Гудзонского орогена; 4 – тектонические границы: а – закартированные, под осадочным чехлом; 5 – граница осадочного чехла; 6 – аномалия электропроводности Северо-Американских Центральных Равнин (NACP anomaly). Показано положение рис. 2.

Fig. 1. The Archaean crust of the North American Craton: tectonic zoning (slightly modified after [Mints, 2017]): 1 – Post-Paleoproterozoic; 2 - Paleoproterozoic; 3 – Archean cratons: а – framed the Trans-Hudson orogen, б – craton Sask within the Trans-Hudson orogen; 4 – tectonic boundaries: а – mapped, б – under the sedimentary cover; 5 – sedimentary cover boundary; 6 – North American Central Planes conductivity anomaly (NACP). Position of Fig. 2 is shown

В палеопротерозойских орогенах Талтсон-Телон, Сноуберд, Торнгат и Фокс с северным продолжением, включающим батолит Камберленд играют значительную роль или преобладают породы гранулитовой фации, напротив, орогена Транс-Гудзон, Кейп-Смит, Нью-Квебек и Пенокеан преимущественно сложены осадочными и вулканогенными породами низкого и умеренного уровня метаморфизма. В расширенном понимании по Corrigan et al. [2012], ТГО включает большинство перечисленных

выше орогенов совместно с архейскими областями, которые подверглись «Гудзонской» тектоно-термальной переработке между ~1.83 и 1.80 млрд лет. Предполагается, что ТГО возник при закрытии океана Маникьюан, эволюция которого сопровождалось формированием ювенильной коры и ее аккрецией к окраинам архейских кратонов: Сьюпириор на западе и Херн на востоке. ТГО является крупнейшим палеопротерозойским орогеном в пределах Северо-Американского кратона (рис. 1, 2).

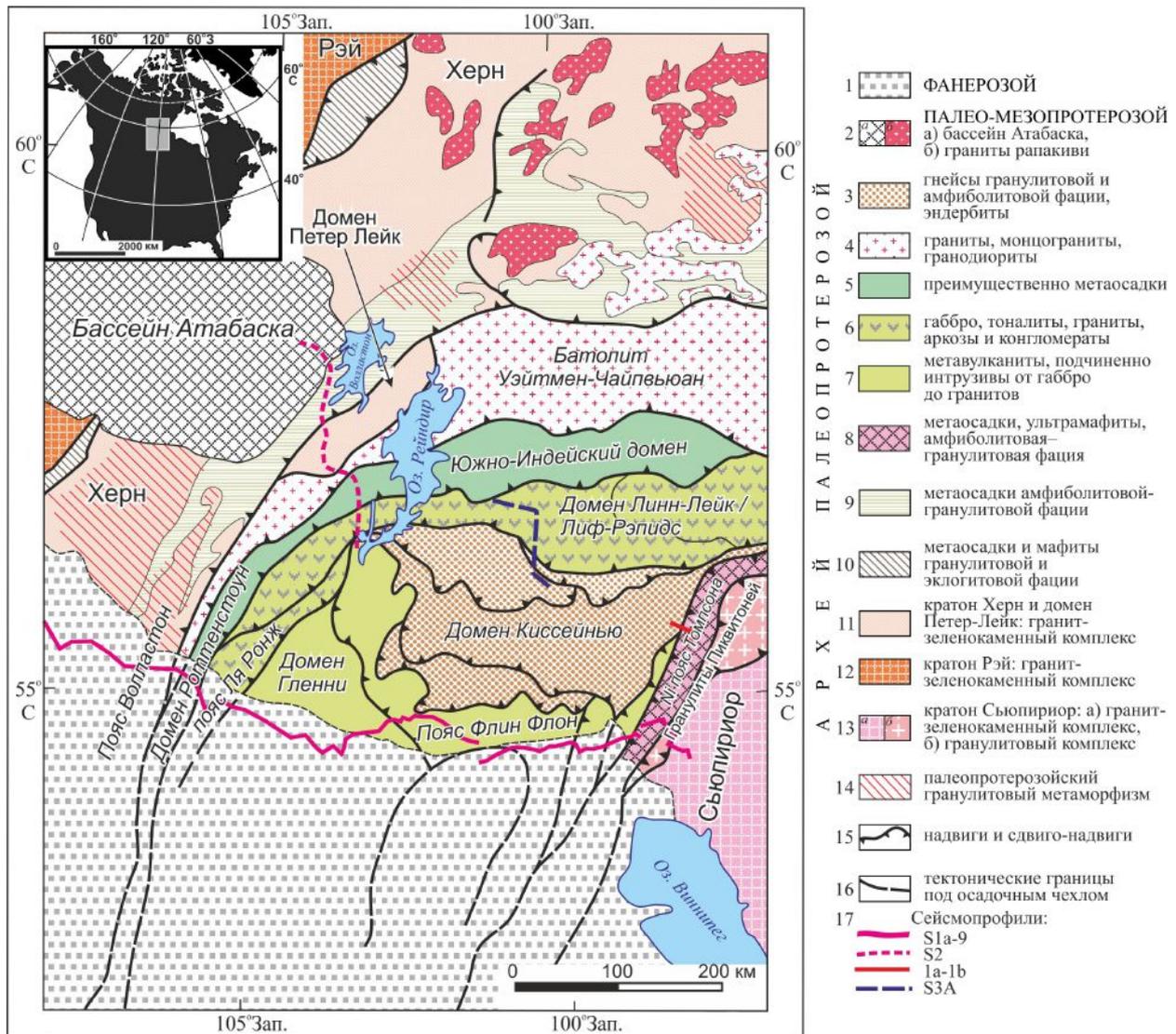


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Транс-Гудзонского орогена: Архейские структуры подписаны шрифтом Arial, палеопротерозойские структуры – шрифтом Arial- Italic.

Fig. 2. Simplified geological map of the Trans-Hudson orogen: 1 – PHANEROZOIC. 2 – PALEO-MESOPROTEROZOIC: a – Athabasca basin, b – rapakivi granites. 3-8 – PALEOPROTEROZOIC: 3 – amphibolite and granulite facies gneisses, enderbites; 4 – granites, monzogranites, granodiorites; 5 – predominantly metasediments, 6 – gabbro, tonalites, granites, arkoses, conglomerates; 7 – metavolcanics, subordinate plutonic rocks from gabbro to granite; 8 – amphibolite and granulite facies metasediments and ultramafites, 9 – amphibolite and granulite facies metasediments. 10-14 – ARCHEAN: 10 – granulite and eclogite facies metasediments and mafites, 11 – Hearne craton and Peter-Lake domain: granite-greenstone complexes, 12 – Rae craton: granite-greenstone complex, 13 – Superior craton: a – granite-greenstone complex, b – granulite facies rocks, 14 – Archean rocks underwent Paleoproterozoic granulite facies metamorphism. 15-16 – faults and tectonic boundaries: reverse (15), inferred beneath sedimentary cover (16). 17 – seismic profiles: S1a-9, S2, 1a-1b, S3a. Names of the Archean units appear in Arial normal, names of the Palaeoproterozoic units appear in Arial italics.

Западная – северо-западная граница ТГО маркирована тектонической зоной Нидл-Фоллс, по которой архейские породы кратона Херн надвинуты на палеопротерозойский ороген. Слагающие ТГО палеопротерозойские породы перекрывают кратон Саск, расположенный в осевой области ТГО, и погружаются под

обрамляющие архейские кратоны. Вдоль восточной границы ТГО породы орогена погружаются под западную окраину архейского кратона Сьюпириор, при этом проявления магматизма, характерные для активных окраин, отсутствуют. Уровень палеопротерозойских деформаций

окраины кратона Сьюпириор существенно ниже в сравнении с кратоном Херн в западном обрамлении орогена. Вдаль пограничной области кратона Сьюпириор протягивается Никелевый пояс Томпсона шириной ~35 км. Пояс образован палеопротерозойскими породами группы Оспуэйджен (Ospwagan Group). Северо-восточная граница орогена скрыта под акваторией и осадочным заполнением Гудзонова залива, южная граница перекрыта платформенным осадочным чехлом. Овальная впадина Гудзонова залива, расположенная около центра округло-овальной области архейской коры Северо-Американского континента, продолжает развитие уникального внутрикратонного бассейна, который возник ~2.0 или, возможно, ~2.7 млрд лет назад, вне непосредственной связи с формированием палеопротерозойского орогена [Mints, 2017; Минц, Афонина, 2018, 2020 (в печати)].

Характерные горно-породные ассоциации и главные события в эволюции ТГО представлены в табл.1.

4. Сейсмические образы коры и коромантийной границы, объемная модель глубинного строения ТГО

Субширотное сечение ТГО охарактеризовано комбинированным сейсмопрофилем Line S1A – Line 9, который полностью пересекает ороген между архейскими кратонами Херн и Сьюпириор [White et al., 2005]. Дополнительная информация была получена по коротким профилям 1a-1b, S2b, S3A (рис. 2). Профиль S1A–9 демонстрирует четко выраженную осевую симметрию структуры

ТГО, структуру главных тектонических подразделений и особенности коромантийной границы (рис. 3).

Кратон Саск

Кратон Саск в осевой зоне орогена играет особую роль в строении ТГО. В сечении профилем S1A–9 сейсмический образ кратона Саск характеризуют структурные линии, прослеженные по сейсмическим отражениям. Эти линии рисуют отчетливую трех-вершинную куполовидную структуру сквозь-коровой протяженности (рис. 3). Поперечное сечение куполовидной структуры достигает 350 км, то есть около половины сечения ТГО по профилю S1A–9. Вершинные части структуры достигают уровня эрозионного среза, но, как правило, остаются недоступными так как преобладающая часть поверхности кратона перекрыта осадочными и вулканогенными породами домена Гленни. Кратон Саск на глубине 27-35 км подстилается нижнекоровой зоной рефлексивити. На профилях через северо-западный склон кратона – S2b (рис. 4а), северный склон – S3A (рис. 4б) и восточный склон – 1a-1b (рис. 4в) основание кратона Саск на глубине 33 км также подстилается зоной рефлексивити.

Тектонические пластины, погружающиеся в западном направлении

Сопоставление сейсмического образа коры с геологической картой (рис. 2) позволяет достаточно уверенно проследить на глубину границы тектонических единиц, погружающихся в западном направлении.

Таблица 1.

Эволюция Транс-Гудзонского орогена

Главные рубежи, млрд лет	Окраина кратона Херн, домен Петер-Лейк	Транс-Гудзонский ороген, западная зона, кратон Саск	Транс-Гудзонский ороген, восточная зона, кратон Саск	Окраина кратона Сьюпириор, впадина Гудзонова залива
2.8-2.6	2.81-2.78 млрд лет: ТТГ гнейсы – результат мобилизации мезо-палеоархейской коры. 2.68-2.54 млрд лет: Интрузии лейкотоналитов, монцогранитов, гранулитовый метаморфизм			~2.75 млрд лет: предполагаемое время заложения впадины Гудзонова залива
2.55-2.3	Пояс Волластон: Терригенные метаосадки, мафитовые металавы, известково-силикатные и кремнистые кластические метаосадки Домен Петер-Лейк, 2.57-2.54 млрд лет: интрузии диоритов, габбро, анортозитов и пироксенитов	2.53-2.43 млрд лет: Тектоно-термальная переработка архейских гнейсов		
2.3-2.0	Пояс Волластон: высокотемпературный метаморфизм ~2.08 млрд лет: рифтинг архейского кратона			Циркум-Сьюпириор, 2.03-1.87 млрд лет: формирование вулканогенно-осадочного заполнения эпиконтинентального бассейна Гудзонова залива
2.1-1.9			Переход от рифтинга к спредингу, разделение кратонов Саск и Сьюпириор между ~2.08 и 1.92 млрд лет	
1.93-1.84		Домены Роттенстоун, Саутерн-Индиан, Ля Ронж и Линн-Лейк / Лиф-Репидс, 1.92-1.84 млрд лет: бимодальный вулканизм, эпиконтинентальные осадки, локально MORB базальты	Домен Гленни, пояс Флин Флон, 1.92-1.88 млрд лет: островодужные вулканы, осадки 1.88-1.87 млрд лет: субдукция и аккреция островодужных ассоциаций к окраине кратона Сьюпириор	
1.87-1.78	Пояс Волластон, 1.87-1.83 млрд лет: высокотемпературный метаморфизм	Гранитоидный батолит Уэйтмен-Чайпьюан, 1.86-1.85 млрд лет: К-граниты, тоналиты, трондьемиты с характерной положительной Eu аномалией, гранодиориты и кварцевые монцониты, подчиненно диориты и габбро	Домен Киссейню, ~1.85 млрд лет: К-гранитоиды в фундаменте гранулит-гнейсов Киссейню Гранулит-гнейсовый комплекс Киссейню: мигматизированные обогащенные кварцем биотит-гранатовые гнейсы, линзы графит-содержащих известковистых и сульфид-содержащих магнетит-силикатных пород, локально – прослой амфиболитов. ~1.85 и 1.83 млрд лет: формирование протолитов 1.81-1.80 млрд лет: метаморфизм гранулитовой фации	Циркум-Сьюпириор, ~1.87 млрд лет: завершение осадконакопления на шельфе депрессии Гудзонова залива Ni пояс Томпсона, ~1.89 млрд лет: рифтогенез, вулканогенно-осадочный комплекс Оспуэйджен, Ni-носные мафит-ультрамафиты 1.83-1.78 млрд лет: гранулитовый-амфиболитовый метаморфизм

Использованы данные: Annesley et al., 2005; Ansdell, 2005; Bickford et al., 2001; Blackburn, Geo, 2010; Chandler, 1988; Chandler, Parrish, 1989; Chiarenzelli et al., 1998; Coolican et al., 2000; Corrigan et al., 2012; Growdon et al., 2006; Lewry, Collerson, 1990; Machado et al., 2011; MacLachlan, 2005; Maxeiner et al., 2004; Mints, 2017; Минц, Афонина, 2020 (в печати); Murphy and Zwanzig, 2007; Rayner et al., 2011; Stern et al., 1995; Whalen et al., 2008; White et al., 1999, 2005; Zwanzig, 2008.

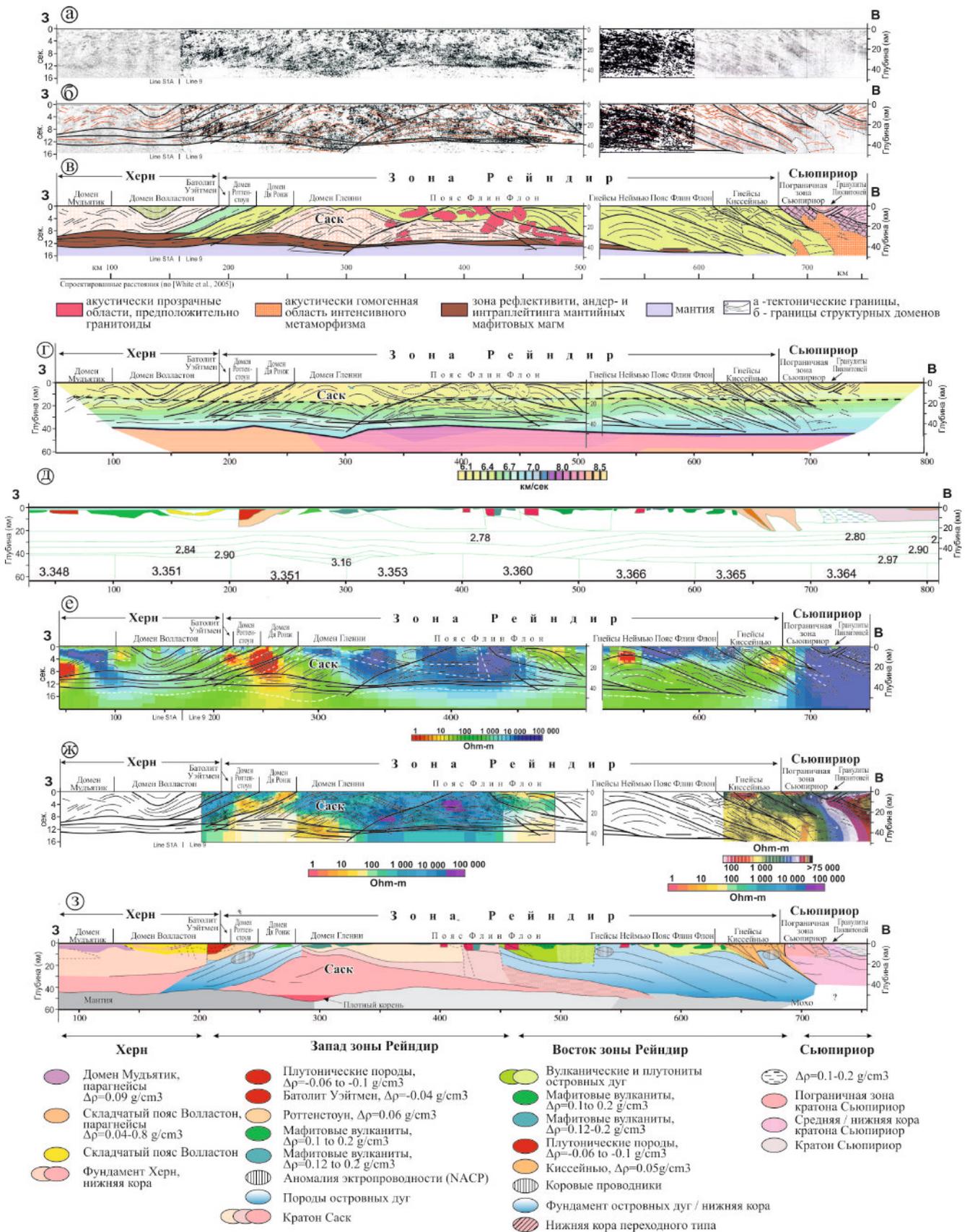


Рис. 3. Земная кора и коро-мантийная граница в сечении профилями S1A и 9

Fig. 3. The Earth's crust and crust-mantle boundary along S1A and 9 profiles.

На рис. 3: (а) сейсмический образ коры и коро-мантийной границы (мигрированный разрез), собранный из фрагментов в [Baird et al., 1996; White et al., 1999, 2005; Hajnal et al., 2005]; (б) сейсмический образ коры с отдешифрированными геологическими и структурно-тектоническими границами (авторы статьи); (в) интерпретационный сейсмо-геологический разрез (авторы статьи, см. условные обозначения на Рис. 2); (г) сейсмо-скоростная модель, полученная инверсией R1 годографов преломленных / широкоугольных отраженных волн [White et al., 2005 from Németh 1999], совмещенная с главными геологическими и структурно-тектоническими границами; (д) плотностная модель, полученная численным моделированием гравитационных данных по профилю с использованием геометрических и плотностных ограничений, образованных сейсмо-скоростной моделью и интерпретацией данных отраженных волн [White et al., 2005] (значения плотности – в г/см³), совмещенная с главными геологическими и структурно-тектоническими границами; (е) модель электропроводности по данным магнито-теллурического зондирования [White et al., 2005], совмещенная с главными геологическими и структурно-тектоническими границами; (ж) детальные модели электропроводности фрагментов профиля по данным магнито-теллурического зондирования [White et al., 1999; Ferguson et al., 2005], совмещенные с главными геологическими и структурно-тектоническими границами; (з) схематический разрез, демонстрирующий архитектуру коры в сечении ТГО, интегрирующий модели (г), (д), (е) и (ж) [White et al., 2005].

On Fig. 3: (a) migrated seismic reflection section combined, after [Baird et al., 1996; White et al., 1999, 2005; Hajnal et al., 2005]; (б) migrated seismic reflection section with deciphered geological boundaries (paper's authors); (в) seismo-geological model (paper's authors, see Fig. 2 for legend); (г) Seismic velocity model obtained by inversion of the R1 seismic refraction/wide-angle reflection travel times and amplitudes [White et al., 2005 from Németh 1999] with main structural boundaries overline; (д) Density model obtained by numerical simulation of observed gravity profile using geometry and density constraints from the seismic velocity model and the seismic reflection interpretation, annotated density values have units of gm/cm³, after [White et al., 2005] with main structural boundaries overline; (е) Electrical conductivity model from MT data, after [White et al., 2005] with main structural boundaries overline; (ж) Detailed electrical conductivity models from MT data, after [White et al., 1999; Ferguson et al., 2005] with main structural boundaries overline; (з) Cartoon summarizing the crustal architecture across the THO as determined by integrating (г), (д), (е) and (ж) geophysical cross-sections [White et al., 2005].

Западный склон кратона Саск перекрыт пакетом тектонических пластин, представляющих снизу вверх домены Ля Ронж и Роттенстоун и батолит Уэйтмен-Чайпьюан, которые надвинуты на кратон Саск и, в свою очередь, пододвинуты под окраину кратона Херн (рис. 3). Аналогичную картину демонстрирует разрез по профилю S2b (рис. 4, слева). На обоих разрезах пакет тектонических пластин в интервале глубин 25-33 км выполаживаются, согласуясь с верхней границей нижнекоровой зоны рефлексивити. В некоторых участках погружающиеся плиты срезаются зоной рефлексивити.

Пограничная область кратона Херн

Сейсмические образы равномерно отражающих областей верхней и средней коры кратона Херн в сечении по профилю S1A-9 являются продолжением

один другого (рис. 3). Короткие отражающие элементы фрагментарно рисуют пологие складки, охватывающие кору от дневной поверхности до глубины около 25 км, где они выполаживаются, согласуясь с кровлей зоны рефлексивити. Домен (пояс) Волластон представляет собой синформную структуру, заполненную метаосадками. ТТГ гнейсы кратона Херн слагают основание синформы и сопряженную антиформу, которая соответствует домену Мудъятик. Аналогичная картина отражений в разрезе S2b (рис. 4, слева) менее выразительна. Граница коры и мантии в основании доменов Волластон и Мудъятик расположена на глубине 40-45 км. В интервале глубин 6-13.5 км наблюдается ветвящийся ярко отражающий объект общей протяженностью около 160 км, связанный с серией диабазовых силлов [Mandler, Clowes, 1997].

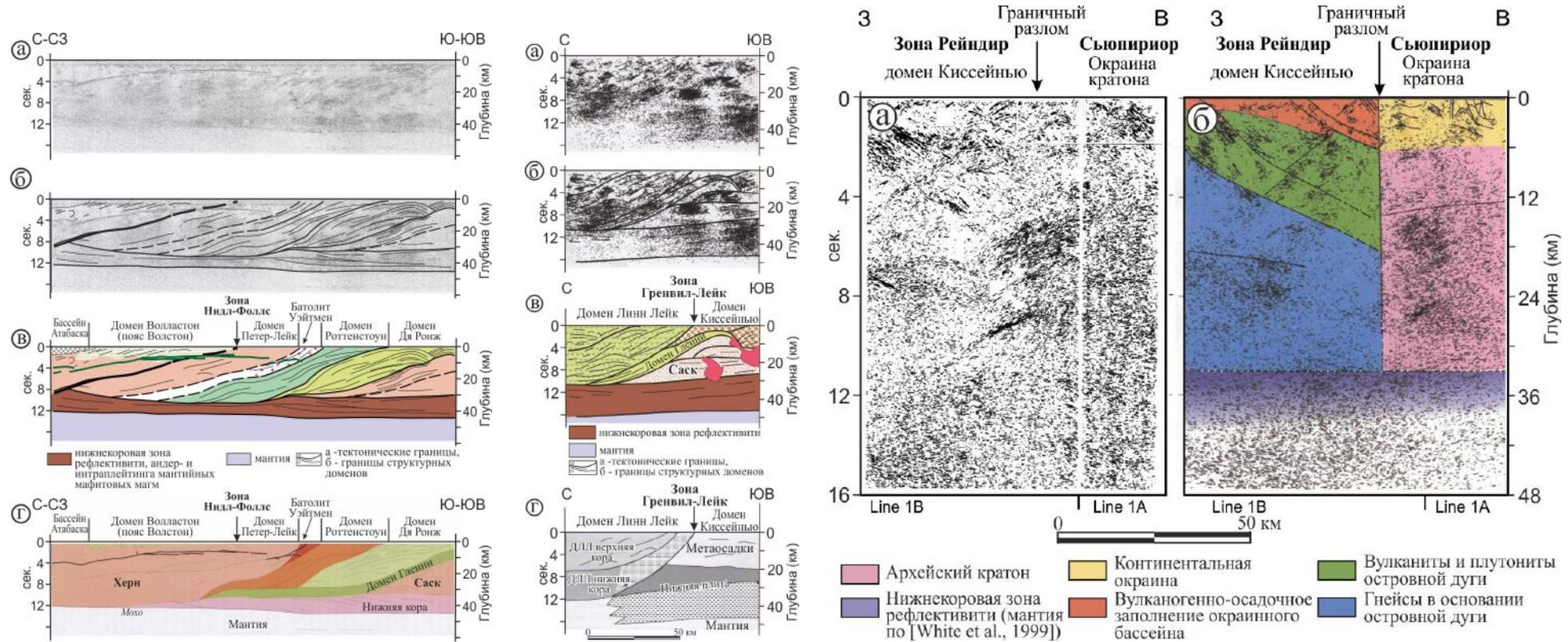


Рис. 4. Земная кора и коро-мантийная граница в сечении профилями S2b (слева), S3a (в центре) и 1A-1B (справа).

Рис. 4, слева. Земная кора и коро-мантийная граница в сечении профилем S2b [Corrigan et al., 2005, 2012]: (а) сейсмический образ коры и коро-мантийной границы (мигрированный разрез) по профилю; (б) сейсмический образ коры с отдешифрированными геологическими и структурно-тектоническими границами (авторы статьи); (в) интерпретационный сейсмо-геологический разрез (авторы статьи, см. условные обозначения на Рис. 2); (г) схематический разрез, базирующийся на интерпретации сейсмического образа по [Corrigan et al., 2005, 2012].

Рис. 4, в центре. Земная кора и коро-мантийная граница в сечении профилем S3a [White et al., 2000; Corrigan et al., 2012]: (а) сейсмический образ коры и коро-мантийной границы (мигрированный разрез) по профилю S3a; (б) сейсмический образ коры с отдешифрированными геологическими и структурно-тектоническими границами (авторы статьи); (в) интерпретационный сейсмо-геологический разрез (авторы статьи, см. условные обозначения на Рис. 2); (г) схематический разрез, базирующийся на интерпретации сейсмического образа, по [White et al., 2000; Corrigan et al., 2012].

Рис. 4, справа. Сейсмические образы коры в сечении короткими профилями 1A-1B [White et al., 1999]: (а) Немигрированные сейсмические данные отраженных волн. (б) Мигрированные данные, совмещенные с интерпретацией. Данные по обоим профилям были объединены до миграции. Учитывая расстояние между профилями около 10 км, при совмещении профилей была сделана попытка обеспечить наилучшее совпадение сейсмических отражений на уровне средней коры.

Fig. 4. Earth's crust and crust–mantle boundary along profiles S2b (left), S3a (center) and 1A-1B (right).

Fig. 4, left. The Earth's crust and crust–mantle boundary along S3a profile [Corrigan et al., 2005, 2012]: (a) migrated seismic reflection data; (b) migrated seismic reflection section with deciphered geological boundaries (paper's authors); (c) seismo-geological model (paper's authors, see Fig. 2 for legend); (d) simplified interpretation, corresponding to data in (a), after [Corrigan et al., 2005, 2012].

Fig. 4, center. The Earth's crust and crust–mantle boundary along S2b profile [White et al., 2000; Corrigan et al., 2012]: (a) migrated seismic reflection data; (b) migrated seismic reflection section with deciphered geological boundaries (paper's authors); (c) seismo-geological model (paper's authors, see Fig. 2 for legend); (d) simplified interpretation, corresponding to data in (a), after [White et al., 2000; Corrigan et al., 2012].

Fig. 4, right. Seismic images along 1a-1b profiles [White et al., 1999]: (a) Unmigrated reflection seismic data. (b) Migrated data with interpretation overline. The data were merged prior to migration. Owing to their along-strike separation of approximately 10 km, some latitude was allowed in how the sections were merged. An attempt was made to provide the best match of the prominent reflectivity in the middle crust.

Тектонические пластины, погружающиеся в восточном направлении

Сейсмический образ коры по профилю S1A-9, перекрывающей восточный склон кратона Саск (рис. 3), образован системами протяженных интенсивных отражений, связанных с пакетом монотонно погружающихся в восточном направлении тектонических пластин пояса Флин Флон. Примечательной особенностью этих пластин является регулярное размещение в верхней части пластин антиклинальных складок, относящихся к типу складок надвигания (рис. 3). Эта особенность свидетельствует о взаимном пододвигании-надвигании как ведущем механизме деформаций пород пояса Флин Флон.

Пограничная область кратона Сьюпириор

Пограничная область кратона Сьюпириор исследована особенно детально, поскольку с нею ассоциируют крупные месторождения сульфидных руд Никелевого пояса Томпсона. Сейсмический образ коры в пограничной области (рис. 3) образован многочисленными согласованно ориентированными отражениями, которые погружаются под окраину кратона Сьюпириор. Собственно Пограничный разлом на картине сейсмических отражений не выделяется: его положение устанавливается при сопоставлении сейсмического образа с геологической картой. Разлом прослеживается до глубины около 25 км и далее исчезает в акустически полупрозрачной гомогенной области. Синформная депрессия на окраине кратона образована архейскими гранулитами Пиквитоней.

Граница ТГО с кратоном Сьюпириор дополнительно охарактеризована сечениями по профилю S3a (рис. 4, в центре) и по коротким профилям 1A и 1B (рис. 4, справа) к северу от профиля SA1-9 (рис. 2) [White et al., 1999]. Геологическая интерпретация сейсмического образа затруднена и неоднозначна из-за чрезмерно малой протяженности этих

профилей. Основание гнейсов Киссейню сколько-нибудь достоверно на картине отражений не выделяется. Однако эти профили выявили очень важную для дальнейшего обсуждения деталь: в основании коры выделяется горизонтальная нижнекоревая зона рефлексивности (рис. 4, справа). Аналогично сейсмическому образу коры в западной части профиля SA1-9, верхняя граница этой зоны на глубине около 33 км срезают структурные элементы вышележащей коры.

Модели скоростной и плотностной расслоенности коры

Модель скоростной расслоенности (рис. 3d) и связанная с ней гравитационная-плотностная модель коры ТГО (рис. 3e) суммируют результаты исследований методами преломленных волн и отраженных волн в широкоугольной постановке [White et al., 2005]. Согласно этим моделям, мощность коры возрастает от 40 км на западе до 45–48 км на востоке. В коре выделены: верхний слой (2.73–2.78 г/см³) толщиной от 12 до 21 км и нижний слой (2.78–2.98 г/см³) толщиной от 20 до 30 км. Породы в мантии до глубины 100 км имеют плотность, незначительно возрастающую от 3,34 г/см³ до 3,37 г/см³. Сопоставление структурного каркаса, представленного сейсмическими отражениями в коре, с моделью субгоризонтальной расслоенности коры демонстрирует принципиальное различие этих образов (рис. 3d).

Результаты магнитотеллурического профилирования

Верхняя часть комплексной модели распределения электрического сопротивления в литосфере ТГО в сечении по профилю S1A-9, соответствующая коре ТГО до глубины 60 км (рис. 3f) рассмотрена Jones et al. [2005] и White et al. [2005]. Локальные модели коровой электропроводности в центре и на востоке профиля S1A-9 охарактеризованы, соответственно, в [Ferguson et al., 2005] и

[White et al., 1999] (рис. 3g). Наиболее яркий электропроводящий объект ($< 10 \text{ Ohm-m}$) выделяется на небольшой глубине в области доменов Роттенстоун и Ля Ронж и западного склона кратона Саск (рис. 3f). Этот объект фиксирует пересечение профилем протяженной аномалии электропроводности Северо-Американских Центральных Равнин [Jones et al., 2005] (рис. 1). Протяженность NACP аномалии достигает 2000 км. Согласно результатам моделирования, аномальный объект образован серией погружающихся к западу проводящих тел в средней коре. Простираение NACP аномалии и аномалий магнитного поля, непосредственно следующих расслоенности горных пород, практически совпадают на всем протяжении ТГО. В результате более детального исследования было установлено, что проводящий объект NACP размещается в домене Ля Ронж, погружающемся в западном направлении [Ferguson et al., 2005] (рис. 3g). Значительная протяженность аномалии NACP свидетельствует о выдержанном по простиранию строении разреза ТГО.

Нижняя кромка яркого проводящего объекта около западного окончания профиля в нижней части коры кратона Херн, вероятно, фиксирует тектонически перемещенные графит-содержащие осадки [Jones et al., 2005]. Основание коры западной части кратона Саск, перекрытой породами домена Гленни, характеризуется повышенной проводимостью ($< 80 \text{ Ohm-m}$) (рис. 3g) [Ferguson et al., 2005]. Этот результат хорошо согласуется с нашей интерпретацией сейсмического образа коры, который фиксирует нижнекоровую зону рефлексивности с кровлей на глубине 28 км и с основанием, совпадающим с коро-мантийной границей на глубине 40 км (рис. 3а-3с, 3е). Породы пояса Флин Флон характеризуются средними значениями электрического сопротивления ($100\text{-}300 \text{ Ohm-m}$), чередующимися с прослоями повышенной проводимости. Наличие этих прослоев, очевидно, связано с гра-

фит-содержащими и сульфидизированными разностями. Тела гранитов в пределах пояса Флин Флон и кратона Саск, сопоставленные на картине сейсмических отражений с акустически прозрачными участками, в части случаев сопоставляются также и с областями максимального электрического сопротивления (рис. 3g).

Электро-проводящие прослои ($< 10 \text{ Ohm-m}$) на небольшой глубине среди гнейсов блока Неймью в восточной части профиля S1A-9 (рис. 3f) погружаются согласно с погружением сейсмических отражающих объектов. Наиболее вероятным источником высокой электропроводности являются графитистые и сульфидизированные гнейсы [Ferguson et al., 1999]. Магнитотеллурические зондирования в пограничной области кратона Сьюпириор [White et al., 1999] фиксируют повышенную проводимость гранулитовых гнейсов Киссейню, очевидно, также связанную с графитсодержащими прослоями. Кроме того, геометрия областей различной электропроводности в согласии с сейсмическим образом коры свидетельствует о погружении границы между ТГО и кратоном Сьюпириор в восточном направлении.

5. Обсуждение

Большинство североамериканских геологов и геофизиков, следуя модели Соединенных Плит Америки [Hoffman, 1988], предполагают, что палеопротерозойский ТГО формировался в согласии с моделью современной тектоники плит [e.g., St-Onge et al., 2006; Corrigan et al., 2012; Percival et al., 2012; Weller, St-Onge, 2017]. Однако детальные модели, предложенные разными исследователями, значительно различаются. Относительно простой модели столкновения двух крупных континентальных плит [St-Onge et al., 2006] противостоят более сложные модели, включающие формирование островных дуг и микроконтинентов, их погружение в разно-ориентированных зонах субдукции и последую-

щую аккрецию [e.g., Ansdell, 2005; Corrigan et al., 2012]. В этих построениях сейсмические данные не играли заметной роли.

5.1. Объемная модель глубинного строения Транс-Гудзонского орогена

Объемная модель глубинного строения ТГО, объединяющая данные геологического картирования (рис. 2) и глубинных геофизических исследований (рис. 3-4), представлена на рис. 5. Анализ объемной модели позволяет отметить и

обсудить ряд важных, не акцентированных или вовсе не отмечавшихся ранее особенностей тектонической структуры орогена. ТГО представляет собой протяженную антиформную структуру с симметрично погружающимся крыльями [Chiarenzelli et al., 1998; White et al., 2005]. Отчетливо обозначенная осевая область орогена образована валообразной поверхностью кратона Саск, который на профиле Line S1A – 9 представлен куполовидным трех-вершинным сечением (рис. 3 и 5).

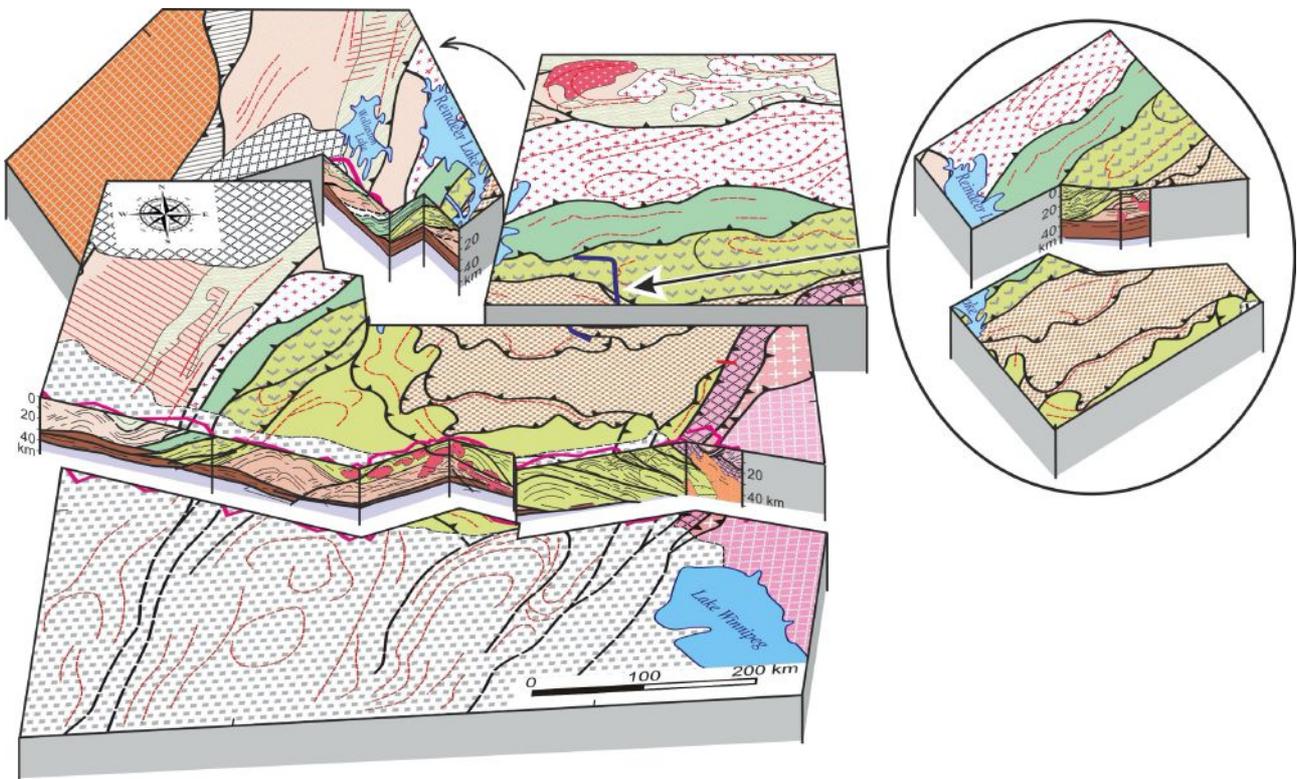


Рис. 5. Трехмерная модель (блок-диаграмма) глубинного строения Транс-Гудзонского орогена. Условные обозначения – в рис. 2 и 3.

Fig. 5. 3D model (block diagram) of the deep crustal structure of the Trans-Hudson. See Figs. 2 and 3 for legend.

Гребень валообразной поверхности простирается в меридиональном направлении в южной части зоны Рейндир и далее к югу в области, перекрытой осадочным чехлом. В северной части орогена кратон Саск, который диагностируется на сейсмических образах коры вдоль коротких профилей S2b и S3A, изгибается вплоть до субширотного направления, следуя развороту границ ТГО. Тектони-

ческие пластины (аллохтоны), образующие крылья антиформной структуры, сложенные гранитоидами и вулканогенно-осадочными ассоциациями, симметрично надвинуты на кратон Саск с запада и с востока и соответственно погружаются под окраины обрамляющих архейских кратонов. В сечении по профилю S3A кратон Саск перекрыт гранулитогнейсовым комплексом Киссейню и,

очевидно, протягивается далее к востоку вплоть до границы с кратоном Сьюпириор. На этом структурная симметрия заканчивается. Особенности нижней коры и коро-мантийной границы в пределах западной и восточной зон внутренней области ТГО и состав пород, образующих крылья антиформы, принципиально различаются.

Четко выдержанный параллелизм границ орогена и симметричную антиформную геометрию ТГО можно наиболее просто объяснить предположением об участии кратонов Херн, Саск и Сьюпириор в строении единой архейской континентальной массы, ее последующим разделением через возникновение двух параллельных внутриконтинентальных рифтов и далее с преобразованием одного из них в зону спрединга. Эволюция ТГО представляет собой последовательность тектонических событий, которые определялась стремительно следовавшими друг за другом геодинамическими обстановками рифтогенеза, спрединга и закрытия протяженного линейного океана, завершившегося формированием коллизионного Транс-Гудзонского орогена. В качестве инициатора геодинамической эволюции мы видим ранне- и поздне-палеопротерозойские суперплюмы [Mints et al., 2015; Mints, Eriksson, 2016].

5.2. Сейсмические образы и эволюция коры Транс-Гудзонского орогена в сравнении с характеристиками коры палеопротерозойских орогенов Фенноскандинавского щита

Характерные особенности объемной модели глубинного строения и истории формирования ТГО в определенной степени повторяют особенности глубинного строения архейского Карельского кратона, подвергнувшегося значительной переработке в палеопротерозое, и палеопротерозойского Свекофеннского аккреционного орогена [Mints et al., 2015, 2020]. Их сопоставление с ТГО позволяет

более надежно реконструировать геодинамические обстановки и тектонические процессы, определившие эти особенности.

Подобие Западной зоны ТГО и Карельского кратона

Модель глубинного строения и эволюции Карельского кратона в юго-восточной части Фенноскандинавского щита разработана на базе сейсмических образов коры вдоль профиля 4В, результатов геологических, геохимических и геохронологических исследований и изучения глубинных ксенолитов [Mints et al., 2015, 2020]. Кора кратона образована последовательностью тектонических пластин, погружающихся к восточному концу профиля (рис. 6, 7).

Палеопротерозойские осадочно-вулканогенные комплексы участвуют в строении чешуйчато-надвиговых ансамблей, образованных чередованием тектонических пластин, сложенных палеопротерозойскими породами и частично породами архейских гранит-зеленокаменных комплексов. В восточной части профиля 4В Карельский кратон перекрыт покровно-надвиговым ансамблем Беломорского пояса. Главные структурные особенности коры связаны с палеопротерозойскими коллизионными процессами. Архейская кора Восточно-Европейского композитного кратона в пределах обширного региона подстилается нижнекоровой зоной рефлексивности (рис. 7, 9). Следуя составу и возрасту глубинных ксенолитов в лампрофировых дайках на островах Кандалакшского залива Белого моря, можно заключить, что нижняя кора преимущественно образована палеопротерозойскими гранатовыми гранулитами (мафитовыми породами и габбро-анортозитами, метаморфизованными в гранулитовой фации), где возраст магматического протолита равен 2.47 млрд лет, возраст гранулитового метаморфизма ~2.4 млрд лет, повторный метаморфизм гранулитовой фации ~1.75 млрд лет назад [Ветрин и др., 2017; Mints et al., 2015].

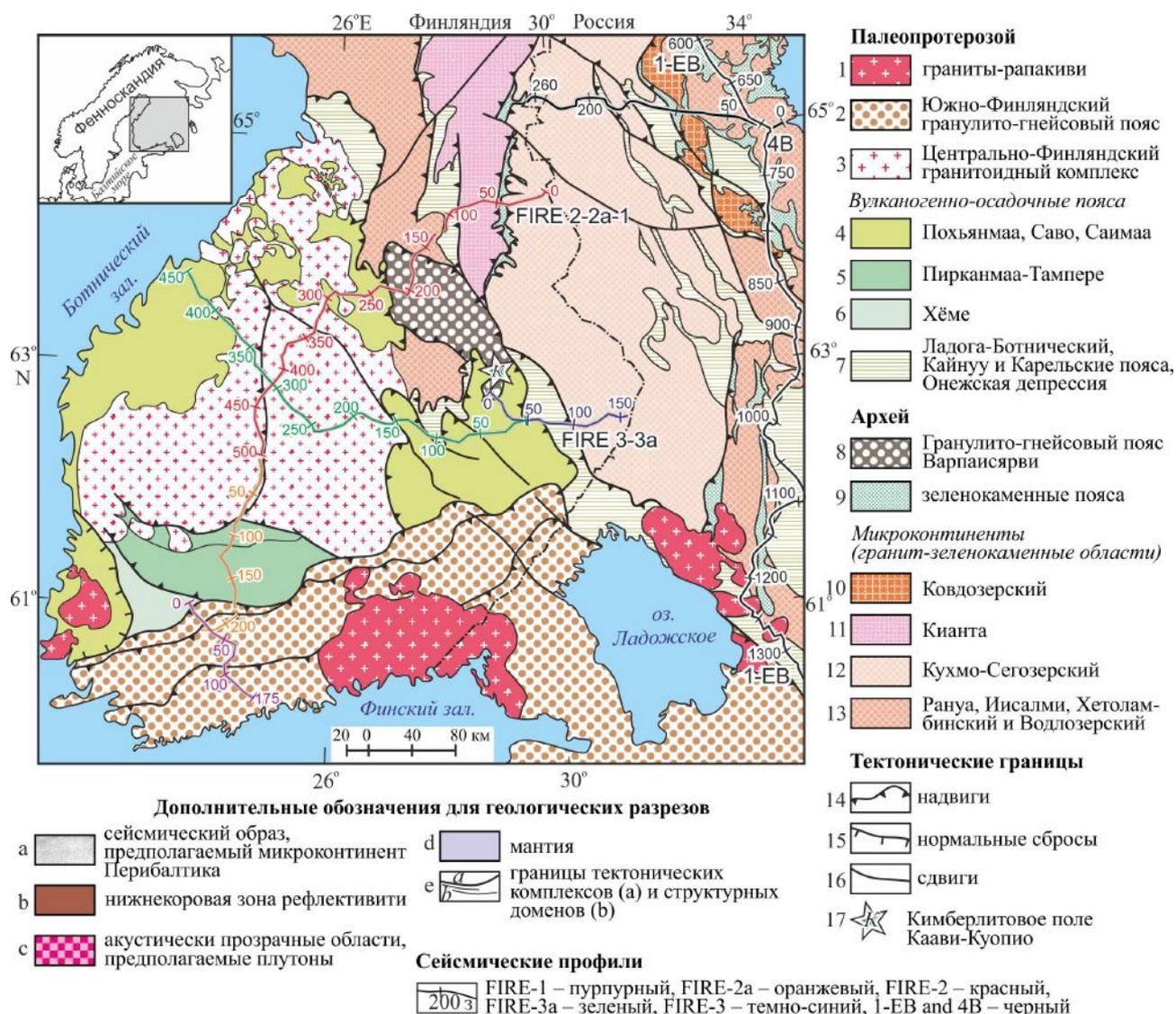


Рис. 6. Геологическая карта юго-востока Фенноскандинавского щита (осадочный чехол удален). Усовершенствовано по [Минц и др., 2018; Mints et al., 2020].

Fig. 6. Geological map of the southeastern Fennoscandian Shield (sedimentary cover removed). Enhanced after [Минц и др., 2018; Mints et al., 2019]:

1-7. Paleoproterozoic. 1 – rapakivi granite, 2 – South Finland granulite-gneiss belt, 3 – Central Finland Granitoid Complex, 4-7. Volcanic-sedimentary belts: 4 – Pohjanmaa, Savo, Saimaa, 5 – Pirkanmaa-Tampere, 6 – Häme, 7 – Ladoga-Bothnian, Kainuu and Karelia belts, Onega depression. 8-13. Archean. 8 – Varpaisjärvi granulite-gneiss complex, 9 – greenstone belts; 10-13 – Microcontinents (granite-greenstone domains): 10 – Kovdozero, 11 – Kianta, 12 – Kuhmo-Segozero, 13 – Ranua, Iisalmi, Khetolamba and Vodlozero. 14-16. Tectonic boundaries. 14 – thrusts and underthrusts, 15 – normal faults, 16 – strike-slip faults. 17 – Kaavi-Kuopio kimberlite area. Additional symbols for geological cross-sections: a – seismic image, suggested Peribaltica microcontinent, b – reflectivity zone in the lower crust, c - acoustically transparent regions, suggested plutons, d – mantle, e – boundaries of tectonic units (a) and structural domains (b). Seismic profiles: FIRE-1 – purple, FIRE-2a – orange, FIRE-2 – red, FIRE-3a – green, FIRE-3 – dark-blue, 1-EU and 4B – black.

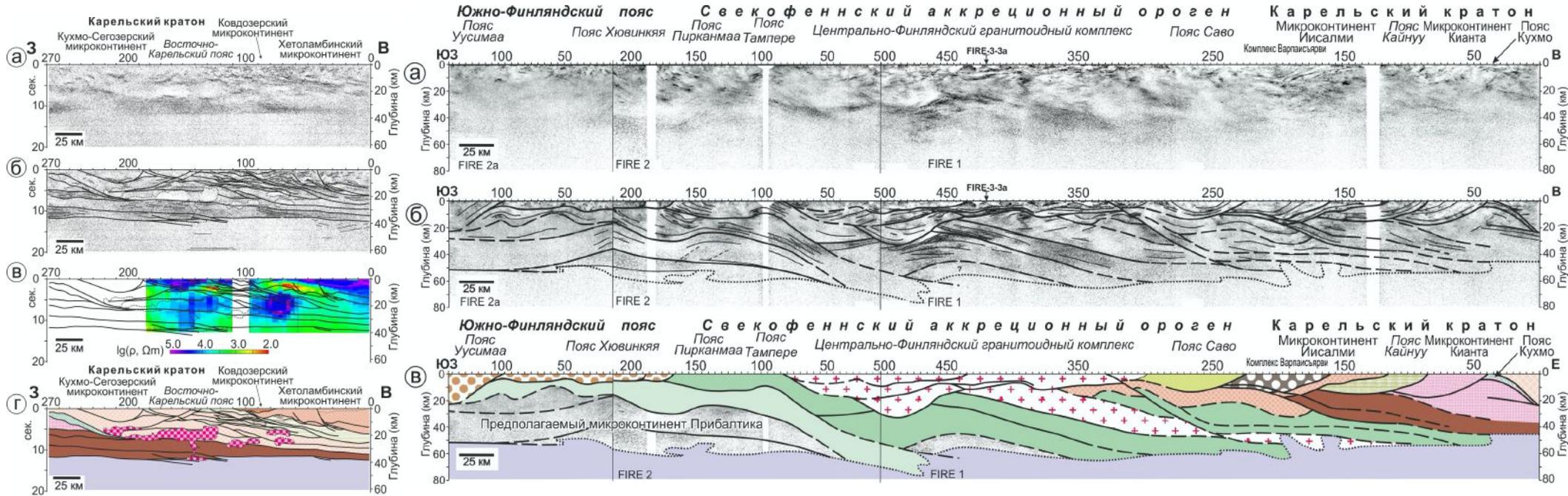


Рис. 7. Земная кора и коро-мантийная граница в сечении профилем 4В (модифицировано по [Mints et al., 2015, 2020]): (а) сейсмический образ коры и коро-мантийной границы (мигрированный разрез); (б) сейсмический образ коры с отдешифрированными геологическими и структурно-тектоническими границами (авторы статьи); (в) распределение кажущегося электросопротивления (по [Cherevatova, 2010]), совмещенное с главными геологическими и структурно-тектоническими границами; (г) интерпретационный сейсмо-геологический разрез (авторы статьи). Названия архейских структур даны в Arial, названия палеопротерозойских структур – Arial Italic. См. условные обозначения на Рис. 6.

Fig. 7. The Earth's crust and crust-mantle boundary along the 4B profile (modified after Mints et al., 2015, 2020). (a) migrated seismic reflection section; (b) migrated seismic reflection section with deciphered geological boundaries; (v) section with the distribution of the apparent electrical resistivity (based on [Cherevatova, 2010]) with deciphered geological boundaries (paper's authors); (g) geological model. Names of the Archaean units appear in Arial normal, names of the Palaeoproterozoic units appear in Arial Italic. See Fig. 6 for legend.

Рис. 8. Земная кора и коро-мантийная граница в сечении профилем FIRE-2-2а-1 (по Минц и др., 2018; Mints et al., 2020 с упрощением): (а) сейсмический образ коры и коро-мантийной границы (мигрированный разрез) по [Kukkonen, Lahtinen, 2006]; (б) сейсмический образ коры с отдешифрированными геологическими и структурно-тектоническими границами (авторы статьи); (в) интерпретационный сейсмо-геологический разрез (авторы статьи, см. условные обозначения на Рис. 6).

Fig. 8. The Earth's crust and crust-mantle boundary along the FIRE-2-2a-1 profile (simplified after Минц и др., 2018; Mints et al., 2020): (a) migrated seismic reflection data after [Kukkonen, Lahtinen, 2006]; (b) migrated seismic reflection section with deciphered geological boundaries (paper's authors); (v) seismo-geological model (paper's authors, see Fig. 6 for legend).

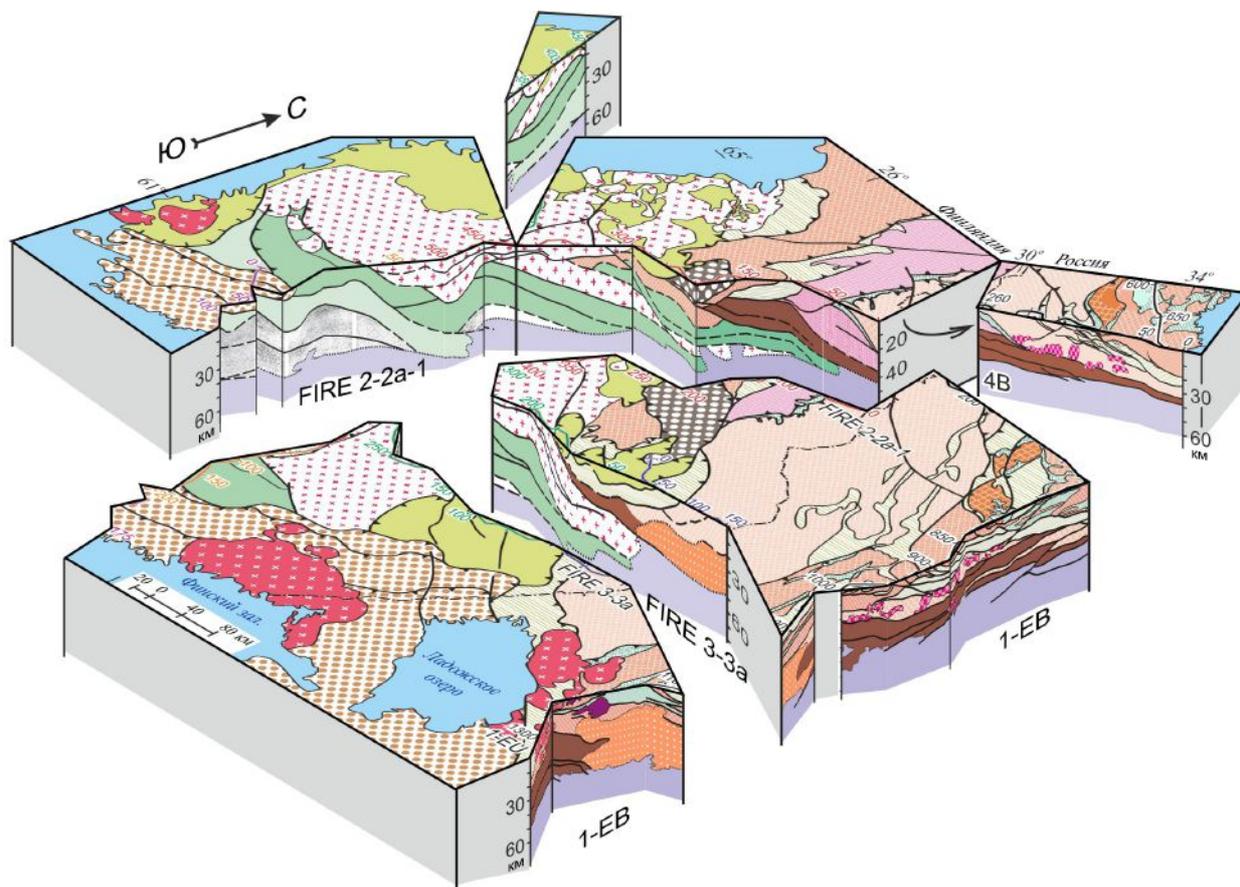


Рис. 9. Трехмерная модель (блок-диаграмма) глубинного строения Карельского кратона и Свеккофеннского аккреционного орогена. Условные обозначения – в рис. 6.

Fig. 9. 3D model (block diagram) of the deep crustal structure of the Karelia craton and Svecofennian accretionary orogen. See Fig. 6 for legend.

Оценки возраста и совпадение области, в основании которой зафиксирована нижнекоревая зона рефлексивити, с ареалом распространения пород палеопротерозойской крупной магматической провинции свидетельствуют о том, что нижняя кора этого региона была сформирована в результате палеопротерозойского андерплейтинга мафитовых мантийных магм, сопровождавшегося метаморфизмом гранулитовой фации. Резко обозначенная коро-мантийная граница между зоной рефлексивити и акустически прозрачной мантией, как правило, горизонтальна. В ряде случаев в результате изгибания и погружения пластин нижней коры, которые постепенно как бы растворяются в мантии, коро-мантийная граница приобретает зубчатое начертание [Mints et al., 2015]. Области

погружения в мантию фрагментов нижней коры часто сопряжены со взбросо-надвиговыми ансамблями в верхней коре. Это указывает на обстановку сжатия, определившую формирование палеопротерозойского внутриконтинентального Лавро-Русского орогена. В средней части архейской коры Карельского кратона выделяется акустически полупрозрачная область, где размещены овальные и грибообразные палеопротерозойские плутоны предположительно образованные породами чарнокит-эндербитовой серии [Mints et al., 2015, 2020].

Сравнение сейсмических образов коры Карельского кратона, переработанной в палеопротерозое, и коры Транс-Гудзонского орогена демонстрирует определенное сходство Западной зоны ТГО и Карельского кратона. В

обоих случаях нижняя кора представлена зоной рефлексивити и отделена от мантии резкой субгоризонтальной границей. Сейсмические образы средней и верхней коры также демонстрируют подобие архейской континентальной коры Карельского кратона и палеопротерозойской Западной зоны ТГО.

Подобие Восточной зоны ТГО и Свекофеннского орогена

Серия профилей отраженных волн (проект FIRE [Kukkonen, Lahtinen, 2006]) и разработанная в результате синтеза сейсмических образов коры и результатов геологического картирования объемная модель глубинного строения демонстрирует главные особенности строения Свекофеннского аккреционного орогена [Glaznev et al., 2015; Mints et al., 2020]. Для аккреционного комплекса (рис. 8, 9) характерна наклонная тектоническая расслоенность: тектонические пластины мощностью около 15 км, образованные вулканогенно-осадочными ассоциациями и гранитоидами, монотонно-последовательно погружаются в восточном направлении. При достижении уровня нижней коры тектонические пластины аккреционного комплекса утрачивают четкие очертания и на картине сейсмических отражений замещаются однообразной акустически полупрозрачной средой, в которой лишь фрагментарно прослеживаются границы отдельных пластин. Варьирующая по глубине (55-60 км, максимально до 75 км) коро-мантийная граница имеет диффузный характер: переход от коры к мантии фиксируется постепенным исчезновением смутно прорисованных границ тектонических пластин и постепенным переходом акустически гомогенизированной и полупрозрачной нижней коры в прозрачную мантию. «Размывание» изображений контактов пород, которые в исходном состоянии создавали контрасты акустической жесткости, связано с плавлением и смешением парциальных расплавов.

Сравнение сейсмических образов коры Восточной зоны ТГО и коры Свекофеннского аккреционного орогена убедительно демонстрирует их очевидное сходство. В обоих случаях образы коры, образованной последовательностью наклонных тектонических пластин, при достижении коро-мантийной границы как бы растворяются в акустически прозрачной мантии. Глубины размещения коро-мантийной границы Восточной зоны ТГО и Свекофеннского орогена равны соответственно 50 км и 55-75 км. Формирование протяженных ансамблей монотонно погружающихся в мантию тектонических пластин свидетельствует о субсинхронной, а не последовательной субдукции индивидуальных пластин [Mints et al., 2020]. Примечательно, что в обоих регионах погружение в мантию тектонических пластин не сопровождалось магматизмом, характерным для активных окраин.

6. Заключение и выводы

Основные структурные направления на пересекающих Транс-Гудзонский ороген сейсмических разрезах, отмеченные авторами статьи и канадскими исследователями, обладают значительным сходством. Однако версии геологической интерпретации сейсмических образов коры и коро-мантийной границы по ряду аспектов значительно различаются (рис. 3). Согласно преобладающей оценке канадских коллег, полученные в рамках программы ЛИТОПРОБА геофизические данные радикально не изменили существовавшей на старте программы модели тектонической структуры ТГО, но дали дополнительную уверенность в первоначальной интерпретации, соединив ее с новым пониманием архитектуры земной коры и процессов, ответственных за нее [White et al., 2005; Percival et al. (eds.), 2012]. Напротив, согласно нашей точке зрения, совмещенное обсуждение геологических и геофизических данных создает основу для принципиально новой трактовки геоди-

намической эволюции Транс-Гудзонского орогена и, в целом, Лавроскандии. Анализ впервые построенной объемной модели Транс-Гудзонского орогена позволяет на новом уровне охарактеризовать главные особенности тектоники орогена и обратиться к реконструкции геодинамических событий в истории его формирования с новых позиций. Результаты этого анализа будут представлены в специальной статье.

Сравнение особенностей глубинного строения Транс-Гудзонского орогена, Карельского кратона и Свекофеннского аккреционного орогена Восточно-Европейского композитного кратона приводит к следующим выводам:

1. Глубинное строение западной части Транс-Гудзонского орогена совместно с сопредельной областью кратона Херн более всего напоминает строение палеопротерозойских осадочно-вулканогенных поясов, протянувшихся вдоль восточной окраины Карельского кратона в сечении профилем 4В [Mints et al., 2015]. Соответственно, западная часть Транс-Гудзонского орогена могла быть сформирована в условиях континентального рифтинга, сопровождавшегося накоплением мощной эпиконтинентальной вулканогенно-осадочной толщи, подвергшейся высокотемпературному метаморфизму совместно с архейским основанием. В дальнейшем, некоторые из рифтов могли быть преобразованы в узкие короткоживущие океаны, при закрытии которых сформировались пояса Роттенстоун, Линн-Лейк и Ля Ронж. Кратон Саск следует рассматривать в качестве фрагмента неоархейского континента, объединявшего архейские кратоны Северной Америки. Зона рефлексивити, вероятно, соответствует области андерплейтинга мантийных магм и гранулитового мета-

морфизма, которые отмечены в палеопротерозое, но, возможно, первоначально возникли уже в неоархее.

2. Глубинное строение восточной части Транс-Гудзонского орогена подобно строению Свекофеннского аккреционного орогена. В обоих случаях, структуры коры и коро-мантийной границы указывают на значительный по масштабу разрыв континентальной области, формирование океана и его последующее закрытие с участием серии зон субдукции, функционировавших близко по времени или одновременно.
3. Историю ТГО можно представить в виде последовательности крупных геодинамических событий, зафиксированных соответствующими горно-породными ассоциациями, тектоно-термальными проявлениями и особенностями глубинного строения:

(i) ~2.55-2.3 млрд лет: рифтогенез неоархейского континента, мафит-ультрамафитовый магматизм, гранулитовый метаморфизм, – свидетельства ранне-палеопротерозойского суперплюма;

(ii) 2.3-2.0 млрд лет: внутриконтинентальные преобразования неоархейского континента, рифтинг архейского кратона, начало осадконакопления на шельфе депрессии Гудзонова залива;

(iii) 2.1-1.9 млрд лет: в восточной зоне ТГО переход от рифтинга к спредингу, разделение кратонов Саск и Сьюпириор – свидетельства стартовых событий, связанных с активностью поздне-палеопротерозойского суперплюма;

(iv) 1.93-1.84 млрд лет: в западной зоне ТГО бимодальный вулканизм, эпиконтинентальное осадконакопление, локальные переходы от рифтинга к спредингу; в восточной зоне ТГО формирование островодужных ассоциаций, субдукция и аккреция короткоживущих островных дуг перед окраиной кратона Сьюпириор;

(v) 1.87-1.78 млрд лет: позднеорогенный гранитоидный и мафит-ультрамафитовый магматизм, рифтогенез, гранулитовый метаморфизм – свидетельства завершающих проявлений позднепалеопротерозойского суперплюма.

4. Особенности глубинного строения Транс-Гудзонского орогена совместно с геологическими данными позволяют сопоставить особенности строения и эволюции: (а) западной зоны ТГО и Карельского кратона, (б) восточной зоны ТГО и Свеккофеннского орогена, что предполагает рифтогенез и последующий разрыв первоначально единой континентальной области, формирование океанов значительной ширины и протяженности и их последующее закрытие, которое сопровождалось возникновением аккреционных орогенов.

Благодарности

Работа выполнена в рамках Государственного задания ГИН РАН, частично профинансирована РФФИ и является вкладом в проект РФФИ № 20-05-00190.

Литература / Reference

1. Ветрин В.Р., Белоусова Е.А., Кременецкий А.А. // Записки Российского Минералогического общества. 2017. № 3. С. 1-16. [Vetrin, V.R., Belousova, E.A., Kremenetsky, A.A. Lu-Hf isotopic systematics of zircon from lower crustal xenoliths in the Belomorian Mobile Belt // *Geology of Ore Deposits*, 2018. Vol. 60 (7). P. 568-577]. <https://doi.org/10.1134/S1075701518070085>
2. Минц М.В., Афонина Т.Б. Глубинное строение и модель неорархейской эволюции Северо-Американского кратона // *Геодинамика и тектонофизика*. 2018. № 2. С. 309-363. [Mints, M.V., Afonina, T.B. Deep crustal structure and model of Neoproterozoic evolution of the North American craton // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2018. Vol. 9, iss. 2. P. 309-363 (in Russian)]. <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-2-0350>
3. Минц М.В., Афонина Т.Б. Докембрийская литосфера в основании Гудзонова залива: уникальное свидетельство существования Северо-Американского кратона на протяжении 2.75 млрд лет // *Геодинамика и тектонофизика*. 2020, в печати. [Mints, M.V., Afonina, T.B. Precambrian lithosphere at the base of the Hudson's Bay: unique evidence of the existence of the North American Craton over 2.75 Ga. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2020, in press (in Russian)].
4. Минц М.В., Соколова Е.Ю., Рабочая группа LADOGA. Объемная модель глубинного строения Свеккофеннского аккреционного орогена по данным МОВ-ОГТ, МТЗ и плотностного моделирования // *Труды Карельского НЦ РАН, серия «Геология докембрия»*. 2018. № 2. С. 34-61. [Mints, M.V., Sokolova, E.Yu., LADOGA Working Group. 3D model of the deep structure of the Svecofennian Accretionary Orogen based on data from CDP seismic reflection method, MT sounding and density modeling. *Transactions of the Karelian Science Center of the Russian Academy of Sciences, a series "Geology of Precambrian"*. 2018. No. 2 P. 34-61 (in Russian). <https://doi.org/10.17076/geo656>
5. Annesley, I.R., Madore, C., and Portella, P., 2005. Geology and thermotectonic evolution of the western margin of the Trans-Hudson Orogen: evidence from the eastern sub-Athabasca basement, Saskatchewan // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 2005. V. 42. P. 573-597,
6. Ansdell, K.M. Tectonic evolution of the Manitoba-Saskatchewan segment of the Paleoproterozoic Trans-Hudson Orogen, Canada // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 2005. V. 42. P. 741-759. <https://doi.org/10.1139/e05-035>
7. Baird, D.J., Nelson, K.D., Knapp, J.H., Walters, J.J., Brown, L.D. Crustal structure and evolution of the Trans-Hudson orogen: Results from seismic reflection profiling // *TECTONICS*. 1996. Vol. 15, No. 2. P. 416-426.
8. Bickford, M.E., Hamilton, M.A., Wortman, G.L., and Hill, B.M., 2001. Archean rocks in the southern Rottenstone Domain: significance for the evolution of the Trans-Hudson Orogen // *Can. J. Earth Sci.* Vol. 38. P. 1017-1025. DOI: 10.1139/cjes-38-7-1017.
9. Blackburn, C.E. and Geo, P., 2010. Report on selected Precambrian environments in the Province of Ontario for Ontario Parks, Ministry of Natural Resources. Blackburn Geological Services, Victoria, B.C., Canada, 51 p.
10. Cherevatova, M.V. The electrical conductivity of the lithosphere of the eastern part of the Fennoscandian Shield based on the results of two-dimensional analysis of the magnetotelluric data. Thesis for the degree of PhD in Physical and Mathematical Sciences. St. Petersburg, S-Pb State University, 2010. 118 p.
11. Chandler, F.W., 1988. The Early Proterozoic Richmond Gulf Graben, east coast of Hudson

- Bay, Quebec // *Geol. Surv. Can., Bull.* Vol. 362, 76 p.
12. Chandler F.W. and Parrish, R.R., 1989. Age of the Richmond Gulf Group and implications for rifting in the Trans-Hudson Orogen, Canada // *Precambrian Research*. Vol. 44, Iss. 3-4. P. 277-288. [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(89\)90048-X](https://doi.org/10.1016/0301-9268(89)90048-X)
 13. Chiarenzelli, J., Aspler, L., Villeneuve, M., Lewry, J. Early Proterozoic evolution of the Saskatchewan Craton and its allochthonous cover, Trans-Hudson Orogen // *The Journal of Geology*. 1998. V. 106. P. 247-267. <https://doi.org/10.1086/516020>
 14. Cook F.A., White D.J., Jones A.G., Eaton D.W.S., Hall J., Clowes R.M. How the crust meets the mantle: Lithoprobe perspectives on the Mohorovičić discontinuity and crust-mantle transition // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 2010. V. 47. No. 4. P. 315-351. <https://doi.org/10.1139/E09-076>
 15. Coolican, C.T., Ansdell, K.M., Kerrich, R., Stauffer, M., 2000: Geochemical character of the tonalite-trondhjemitic suite of the Tonalite-Migmatite Complex, Deception Lake, Saskatchewan. In: Summary of Investigations 2000, Volume 2. Saskatchewan Geological Survey, Sask. Energy Mines, Misc. Rep. 2000-4.2, 86-94.
 16. Corrigan, D., Hajnal, Z., Németh, B., Lucas, S.B. Tectonic framework of a Paleoproterozoic arc-continent to continent-continent collisional zone, Trans-Hudson Orogen, from geological and seismic reflection studies // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 2010. Vol. 42. P. 421-434. <https://doi.org/10.1139/E05-025>
 17. Corrigan, D. Paleoproterozoic crustal evolution and tectonics processes: Insights from the LITHOPROBE program in the Trans-Hudson orogen, Canada. In: Percival, J.A., Cook, F.A., Clowes, R.M. (Eds.). *Tectonic styles in Canada: The LITHOPROBE perspective* // Geological Association of Canada Special Paper. 2012. V. 49. P. 237-284.
 18. Ferguson, I.J., Jones, A.J., Sheng, Y., Wu, X., Shiozali, I. Geoelectric response and crustal electrical-conductivity structure of the Flin Flon Belt, Trans-Hudson Orogen, Canada // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 1999. V. 36. P. 1917-1938. <https://doi.org/10.1139/e99-119>
 19. Ferguson, I.J., Stevens, K.M., Jones, A.G. Electrical-resistivity imaging of the central Trans-Hudson orogen // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 2005. V. 42. P. 495-515. <https://doi.org/10.1139/E05-017>
 20. Glaznev, V.N., Mints, M.V., Muravina, O.M., Raevsky, A.B., Osipenko, L.G. Complex geological-geophysical 3D model of the crust in the southeastern Fennoscandian Shield: Nature of density layering of the crust and crust-mantle boundary // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2015. V. 6. No. 2. P. 133-170. <https://doi.org/10.5800/GT-2015-6-2-0176>
 21. Growdon, M.L., Percival, J.A., Rayner, N. and Murphy, L., 2006. Regional granulite-facies metamorphism in the northeastern Kiseynew Domain, Manitoba (parts of NTS 630). In: Report of Activities 2006, Manitoba Science, Technology, Energy and Mines, Manitoba Geological Survey, p. 104-115.
 22. Hajnal, Z., Lewry, J., White, D., Ashton, K., Clowes, R., Stauffer, M., Gyorfi, I., Takacs, E. The Sask Craton and Hearne Province margin: seismic reflection studies in the western Trans-Hudson Orogen // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 2005. Vol. 42. P. 403-419. <https://doi.org/10.1139/E05-026>
 23. Hammer P.T.C., Clowes R.M., Cook F.A., Van der Velden A.J., Vasudevan K. The Lithoprobe transcontinental lithospheric cross sections: imaging the internal structure of the North American continent // *Canadian Journal of Earth Science*. 2010. Vol. 47, No. 5. P. 821-857. <https://doi.org/10.1139/E10-036>
 24. Hoffman, P.F. United Plates of America, The Birth of a Craton: Early Proterozoic Assembly and Growth of Laurentia. *Annual review of Earth and Planetary Sciences*. 1988. V. 16. P. 543-603. <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.16.050188.002551>
 25. Hoffman, P.F. Subdivision of the Churchill province and extent of the Trans-Hudson Orogen. In: Lewry, J.F., Stauffer, M.R. – Eds. *The Early Proterozoic Trans-Hudson Orogen of North America* // Geological Association of Canada Special Paper. 1990. V. 37. P. 15-39.
 26. Holliger, K., Levander, A. Lower crustal reflectivity modeled by rheological controls on mafic intrusions // *Geology*. 1994. V. 22. P. 367-370. [http://doi.org/10.1130/0091-7613\(1994\)022<0367:LCRMBR>2.3.CO;2](http://doi.org/10.1130/0091-7613(1994)022<0367:LCRMBR>2.3.CO;2)
 27. Jones, A.G., Ledo, J., Ferguson, I.J. Electromagnetic images of the Trans-Hudson orogen: the North American Central Plains anomaly revealed // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 2005. V. 42. P. 457-478. <https://doi.org/10.1139/E05-018>
 28. Kukkonen I.T., Lahtinen R. Finnish reflection experiment FIRE 2001-2005 // Geological Survey of Finland Special Paper. 2006. V. 43. 247 p.
 29. Lewry, J.F., Collerson, K.D. The Trans-Hudson Orogen: extent, subdivisions and problems. In: Lewry, J.F., Stauffer, M.R. – Eds. *The Early Proterozoic Trans-Hudson Orogen of North America: Geological Association of Canada Special Paper*. 1990. V. 37. P. 1-14.
 30. Machado, N., Gapais, D., Potrel, A., Gauthier, G., Hallot, E., 2011. Chronology of transpression, magmatism, and sedimentation in the Thompson Nickel Belt (Manitoba, Canada) and timing of Trans-Hudson Orogen – Superior Province collision // *Canadian Journal of Earth Sciences*, 2011, 48(2): 295-324, <https://doi.org/10.1139/E10-040>

31. MacLachlan, K., 2005. A tale of two transects: Distribution of 2.38 to 2.55 Ga *versus* juvenile 1.89 to 1.86 Ga detritus in the Rottenstone Domain. In: Summary of Investigations 2005, Volume 2, Saskatchewan Geological Survey, Sask. Industry Resources, Misc. Rep. 2005-4.2, CD-ROM, Paper A-7, 19 p.
32. Mandler, H.A.F., Clowes, R.M. Evidence for extensive tabular intrusions in the Precambrian shield of western Canada: A 160-km-long sequence of bright reflections // *Geology*. 1997. V. 25. No. 3. P. 271-274.
33. Maxeiner, R.O., Harper, C., Corrigan, D., and MacDougall, D.G., 2004. La Ronge-Lynn Lake Bridge Project: Geology of the Southern Reindeer Lake area: Saskatchewan Industry and Resources, Open File Report 2003-1, 2 CD-ROM set and 3 maps.
34. Mints, M.V. The composite North American Craton, Superior Province: deep crustal structure and mantle-plume model of Neoarchean evolution // *Precambrian Research*. 2017. Vol. 302. P. 94-121. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2017.08.025>
35. Mints, M.V., Eriksson, P.G. Secular changes in relationships between plate-tectonic and mantle-plume engendered processes during Precambrian time // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2016. V. 7. No. 2. P. 173-232. <https://doi.org/10.5800/GT-2016-7-2-0203>
36. Mints, M.V., Dokukina, K.A., Konilov, A.N., Philippova, I.B., Zlobin, V.L., Babayants, P.S., Belousova, E.A., Blokh, Yu.I., Bogina, M.M., Bush, W.A., Dokukin, P.A., Kaulina, T.V., Natapov, L.M., Piip, V.B., Stupak, V.M., Suleimanov, A.K., Trusov, A.A., Van, K.V., Zamozhniaya, N.G. East European Craton: Early Precambrian history and 3D models of deep crustal structure // *The Geological Society of America Special Paper*. 2015. Vol. 510, 433 p.
37. Mints, M.V., Glaznev, V.N., Muravina, O.M., Sokolova, E. Yu. A 3D model of the Svecofennian Accretionary Orogen and the Karelia Craton based on geology, reflection seismics, magnetotellurics and density modeling: geodynamic speculations // *Geoscience Frontiers*. 2020. No. 3, in press. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2019.10.003>
38. Mooney, W.D., Meissner, R. Multi-genetic origin of crustal reflectivity: a review of seismic reflection profiling of the continental lower crust and Moho. In: Fountain, D.M., Arculus, R., Kay, R.W. – Eds. *Continental Lower Crust*. Elsevier, Amsterdam. P. 45-79.
39. Murphy, L.A. and Zwanzig, H.V., 2007. Preliminary stratigraphy and structure of the Notigi Lake area, Manitoba (parts of NTS 63015, 16). In: Report of Activities 2007, Manitoba Science, Technology, Energy and Mines, Manitoba Geological Survey, p. 51-62.
40. Németh, B. Structure of the lithosphere within the Trans-Hudson Orogen (Results of the 1993 Lithoprobe Trans-Hudson refraction experiment). Ph.D. thesis, University of Saskatchewan, Sask. 1999.
41. Percival, J.A., Skulski, T., Sanborn-Barrie, M., Stott, G.M., Leclair, A.D., Corkery, M.T., Boily, M. Chapter 6. Geology and tectonic evolution of the Superior Province, Canada. In: Percival, J.A., Cook, F.A., Clowes, R.M. (Eds.). *Tectonic styles in Canada: The LITHOPROBE perspective* – Eds. Geological Association of Canada, Special Paper. 2012. V. 49. P. 321-378. http://www.gac.ca/publications/view_pub.php?id=219
42. Percival, J.A., Cook, F.A., Clowes, R.M. – Eds. *Tectonic styles in Canada: The LITHOPROBE perspective*. Geological Association of Canada Special Paper. 2012. V. 49. 512p.
43. Rayner, N.M., Stern, R.A., and Bickford, M.E., 2005. Tectonic implications of new SHRIMP and TIMS U-Pb geochronology of rocks from the Sask Craton, Peter Lake Domain, and Hearne margin, Trans-Hudson Orogen, Saskatchewan. *Canadian Journal Earth Sciences* 42 (4), 635-657. <https://doi.org/10.1139/e04-045>
44. Stern, R.A., Syme, E.C., and Lucas, S.B., 1995. Geochemistry of 1.9 Ga MORB- and OIB-like basalts from the Amisk collage, Flin Flon belt, Canada: Evidence for an intra-oceanic origin // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol. 59. P. 3131-3154, [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00202-B](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00202-B)
45. St-Onge, M. R., Searle, M., Wodicka, N. Trans-Hudson orogen of North America and Himalaya-Karakoram-Tibetan orogen of Asia: Structural and thermal characteristics of the lower and upper plates // *Tectonics*. 2006. V. 25. TC4006. <https://doi.org/10.1029/2005TC001907>
46. Weller, O., St-Onge, M. R. Record of modern-style plate tectonics in the Palaeoproterozoic Trans-Hudson orogen *Nature Geoscience*. 2017. V. 10. P. 305-312. <https://doi.org/10.1038/NNGEO2904>
47. Whalen, J.B., Zwanzig, H.V., Percival, J.A. and Rayner, N., 2008. Geochemistry of an alkaline, ca. 1885 Ma K-feldspar-porphyrific, monzonitic to syenogranitic suite, northeastern Kiseynew Domain, Manitoba (parts of NTS 630); In: Report of Activities 2008, Manitoba Science, Technology, Energy and Mines, Manitoba Geological Survey, p. 66-78.
48. White, D.J., Jones, A.G., Lucas, S.B. Tectonic evolution of the Superior Boundary Zone from coincident seismic reflection and magnetotelluric profiles // *Tectonics*. 1999. V. 18. No. 3. P. 430-451.
49. White, D.J., Zwanzig, H., Hajnal, Z. Crustal suture preserved in the Paleoproterozoic Trans-Hudson Orogen, Canada // *Geology*. 2000. Vol. 29. P.

- 527–530. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2000\)28<527:CSPITP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2000)28<527:CSPITP>2.0.CO;2)
50. White, D.J., Thomas, M.D., Jones, A.G., Hope, J., Németh, B., Hajnal, Z. Geophysical transect across a Paleoproterozoic continent–continent collision zone: The Trans- Hudson Orogen // Canadian Journal of Earth Sciences. 2005. V. 42. P. 385-402. <https://doi.org/10.1139/E05-002>
51. Zwanzig, H.V., 2008. Correlation of lithological assemblages flanking the Kiseynew Domain, Manitoba (parts of NTS 63N, 63O, 64B, 64C): proposal for tectonic/metallogenic subdomains. In: Report of Activities 2008, Manitoba Science, Technology, Energy and Mines, Manitoba Geological Survey, p. 38–52.



A 3D MODEL OF THE DEEP STRUCTURE AND PALEOPROTEROZOIC EVOLUTION OF THE TRANS-HUDSON OROGEN, NORTH AMERICA, IN COMPARISON WITH THE PALEOPROTEROZOIC OROGENS OF THE EAST EUROPEAN CRATON

Mints M.V.

Dokukina K.A.

Afonina T.B.

Geological institute of The Russian Academy of Sciences, Russia

E-mail: michael-mints@yandex.ru

E-mail: dokukina@mail.ru

E-mail: afoninatoma@yandex.ru

Abstract: Interpretation of new geophysical data that display the deep crustal structure of the large regions (LITHOPROBA Program, Canada; FIRE Project, Finland; 1-EB Project, Russia) presumes the improvement of the models of the Precambrian deep structure and evolution. As one of the first steps towards the joint analysis of these data, a 3D model of the Paleoproterozoic Trans-Hudson orogen within the Canadian Shield was developed based on the methodological solutions obtained during the study of the East European composite craton in frames of the 1-EB and FIRE Projects. The deep structure of the western part of the orogen is similar to the structure of the area of the Paleoproterozoic sedimentary-volcanogenic belts, stretching along the eastern edge of the Karelia craton. This part of the orogen was reworked by the rifting accompanied by the accumulation of the thick epicontinental volcanic-sedimentary sequences, which underwent high-temperature metamorphism together with the Archean basement. Some of the rifts were later transformed into narrow short-lived oceans. The deep structure of the eastern part of the Trans-Hudson orogen is similar to Svecofennian accretionary orogen: the structures of the crust and crust-mantle boundary indicate a disruption of the continental crust, formation of the ocean and its subsequent closure with a series of subduction zones that functioned close in time or simultaneously.

Key words: Trans-Hudson orogen, 3D geological-geophysical model, Lithoprobe, FIRE, 1-EB, Svecofennian orogen, Karelia craton, crustal seismic images.

© Минц М.В., Докукина П.А., Афолина Т.Б., 2020

ПЕРВИЧНАЯ ПРИРОДА НЕОАРХЕЙСКИХ ПОРОД С ОБЛОМОЧНЫМИ ТЕКСТУРАМИ (КОЛЬСКИЙ РЕГИОН СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА)

Пожиленко В.И.

Геологический институт Кольского НЦ РАН, г. Апатиты, Россия

E-mail: pozhil@geoksc.apatity.ru

Аннотация: Чунозёрская зона расположена в центральной части Кольского региона. В ней выявлены и описаны два участка с конгломератобрекчиями: 1 – на г. Руапнюн (32°15'20" E longitude, 67°43'35" N latitude); 2 – на г. Ельвяруайвенч (32°40'50" E longitude, 67°39'20" N latitude). Они аналогичны конгломератобрекчиям 2-ой толщи Вочеламбинского зеленокаменного пояса. Выявлены и описаны несколько участков с эруптивными брекчиями: 1 - на отроге Ельнюн-II (32°36'45" E longitude, 67°39'30" N latitude; 32°37'14" E longitude, 67°39'27" N latitude; 32°37'18" E longitude, 67°39'25" N latitude); 2 – на г. Руапнюн (32°15'20" E longitude, 67°43'35" N latitude). Они представлены метагаббро с разным количеством обломков амфиболитов и микрогаббро.

Ключевые слова: Фенноскандинавский щит, Кольский регион, неоархей, конгломерато-брекчия, эруптивная брекчия.

Введение

В данной работе не рассматриваются породы с вторичными обломочными текстурами (агматиты, тектоническая брекчия, катаклазиты и т.д.), которые достаточно широко распространены в пределах разнообразных ультраметаморфических комплексов Беломорского террейна северо-восточной части Фенноскандинавского щита. Их природа определяется достаточно легко и однозначно – она свидетельствует о вторичных процессах. Наибольший интерес представляют редкие находки пород с обломочными текстурами, первичная природа которых может указывать на первичные условия (осадконакопление, вулканизм и т.д.) их образования.

В процессе тематических исследований в пределах Чунозёрской зоны субширотного простиранья, расположенной в центральной части Кольского региона на северо-восточном фланге Ёнского сегмента Беломорского террейна [8, рис. 3.65], в районе Нярк-тундры севернее оз. Чунозеро на двух участках были выявлены породы с обломочными текстурами, генезис которых интерпретировался по-разному.

На первом участке, расположенном на г. Ельнюн Нярк-тундр, метаморфизованные породы с обломочной текстурой

были описаны в 1935 г. Н.Г. Судовиковым [10] как конгломераты, а в 1938 г. Н.И. Соустовым [9] – как магматические «конгломераты» (эруптивные брекчии?). Это можно понимать как разную интерпретацию генезиса этих пород, но не исключено, что они описали разные обнажения. С того времени все последующие исследователи не смогли найти эти обнажения, хотя точка с конгломератами указана на «Геологической карте Кольского полуострова» м-ба 1:1000000 [1]. Во время детального исследования г. Ельвяруайвенч и отрогов Ельнюн-I, -II и -III автору удалось выявить многочисленные коренные выходы пород с обломочными текстурами, два типа из которых будут рассмотрены ниже.

На втором участке, расположенном в р-не г. Руапнюн на юго-западном отроге Нярк-тундр, О.Т. Князевым [5] были описаны породы с обломочными, текстурами, интерпретированные ими как реликтовые породы некка (жерла вулкана). Они также были детально изучены, переинтерпретированы и краткое описание приводится ниже. Участки, в которых были однозначно определены конгломерато-брекчии или туфоконгломераты были указаны немасштабными знаками на геологической карте [8, рис. 3.65].

Объекты исследований

1а. Конгломерато-брекчии г. Ельвруайвенч (ельяврские).

В 950 м к востоку от южного окончания оз. Ельяр на г. Ельвруайвенч (32°40'50" восточной долготы, 67°39'20" северной широты) в метаморфизованных габброидах обнаружен ксенолит (~3м×10 м) конгломерато-брекчий (рис. 1). В ксенолите конгломерато-брекчий есть прослой мелкозернистых гнейсов по грауваккам (возможно, по м/з туфам) мощностью около 30 см. Обломки в конгломерато-брекчиях составляют примерно 80% от общего объёма, а цемент – около 20%. Упаковка галек в них очень плотная. Состав галек: преобладают тёмно-серые и серые мелкозернистые амфиболиты; плагиогранитоиды составляют примерно от 10 до 25 % от объёма в разных участках; отмечено две гальки кварцевого и несколько галек гранодиоритового состава. Размеры галек: гранитоидных – от 0.7×1.5 см до 9×17 см; кварцевых – ~2×4.5 см.; амфиболитовых – от 0.5×1.5 см до 4×10 см. Гальки пород кислого и среднего состава более округлые. Обломки амфиболитов имеют угловато-округлённые формы. В эрозионном срезе степень уплощённости галек меньше чем у обломков, до 1/2 и 1/5 соответственно.

Удлинение почти всех галек в одном направлении, что также может свидетельствовать о более вероятном формировании их в водном потоке. Но следует также учитывать и то, что удлинение галек, могло быть частично обусловлено незначительным рассланцеванием и деформацией галек, так как породы были метаморфизованы в амфиболитовой фации и слабо рассланцованы ещё до захвата их интрузией. Об этом свидетельствует то обстоятельство, что вмещающие габброиды метаморфизованы, но в зоне контакта с ксенолитом конгломерато-брекчий не рассланцованы.

Ельяврские конгломерато-брекчии могут рассматриваться как «смешан-

ные» вулканогенно-осадочные образования оползневого (турбидитового) типа, которые могли сформироваться в зонах проявления синхронного седиментогенеза и вулканизма (возможно, в задуговом бассейне?).

1б. Эруптивные брекчии и конгломерато-брекчиевидные породы г. Ельнюн.

В этом районе есть несколько отрогов с названием Ельнюн (Ельнюн-I, Ельнюн-II и Ельнюн-III). И где были описаны Н.Г. Судовиковым и Н.И. Соустовым конгломератоподобные породы – точно неизвестно. После детального обследования обнажений на всех трёх отрогах только на восточном склоне отрога Ельнюн-II выше границы леса были найдены 5 участков (с усреднёнными координатами 32°36'45" восточной долготы, 67°39'30" северной широты и 32°37'14" восточной долготы, 67°39'27" северной широты), породы в которых больше всего походили на породы, описанные вышеуказанными исследователями. Кроме участков, где однозначно устанавливается, что это эруптивная брекчия, есть и фрагменты, сложенные проблематичными породами, похожими на конгломерато-брекчии, генетическую природу которых ещё предстоит выяснить.

Размеры участков от 0.5м×1.0м до нескольких метров. В однозначно эруптивных брекчиях в микрогаббро и ср-кр/кр габбро содержится разное количество и разного размера угловато-округлённых либо овальных обломков (ксенолитов?) мелкозернистого амфиболита – пород эндоконтактной зоны массива и экзоконтактной зоны вмещающих. В отдельном случае эти брекчии найдены в приконтактной части с амфиболитами. Широкое развитие эруптивных брекчий в интрузии по латерали свидетельствует о том, что в эрозионном срезе наблюдается прикровлевая часть интрузии, в кровле которой в отдельных участках сохранились вмещающие амфиболиты.

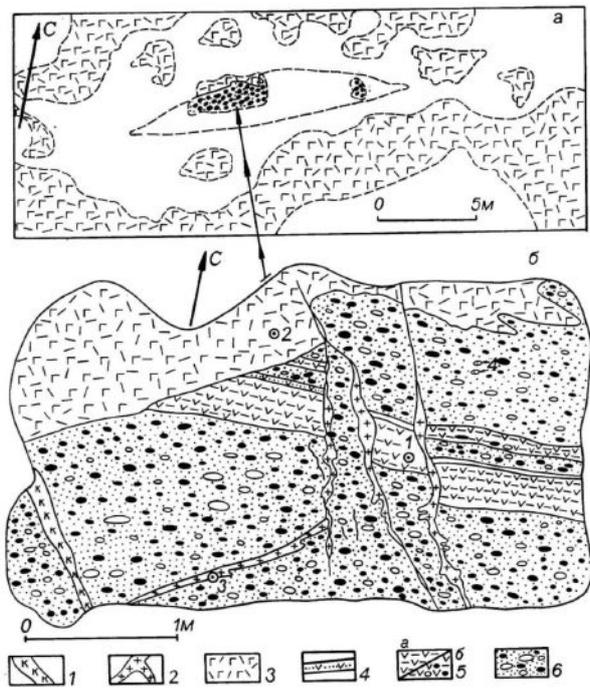


Рис. 1. Геологическая схема участка (а) и зарисовка обнажения (б) конгломерато-брекчий г. Ельяврвайвенч Чунозёрской зоны: 1 – кварцевая жила; 2 – жилки плагиогранитоидов; 3 – тёмно-серый амфиболит по габбро-диабазу; 4 – мелкозернистые амфиболиты по прослою туффитов; 5 – тёмно-серый мелкозернистый амфиболит по мелкозернистому туфу (а), с редкими гальками гранитоидов и обломками туфов (б); 6 – полимиктовые, несортированные конгломерато-брекчии с пирокластикой (туфоконгломераты).

Fig. 1. Geological map of the site (a) and drawing of the outcrop (b) conglomerate- breccias of the town of Elyavruaivench of the Chunozero zone: 1 – quartz vein; 2 – plagiogranitoid veins; 3 – dark gray amphibolite by gabbro-diabase; 4 – fine – grained amphibolites by tuffite interlayer; 5 – dark gray fine-grained amphibolite by fine – grained tuff (a), with rare granitoid pebbles and tuff fragments (b); 6 – polymictic, unsorted conglomerate-breccias with pyroclastic materials (tuff-conglomerates).

Одно из обнаруженных обнажений, расположенное на юго-восточном склоне отрога Ельнюн-II выше границы леса (на «географической тропе» Лапландского заповедника), было расчищено на участке размером 10м×(1-7)м вкрест простирания (рис. 2). Его координаты – (32°37'18" восточной долготы, 67°39'25" северной широты).

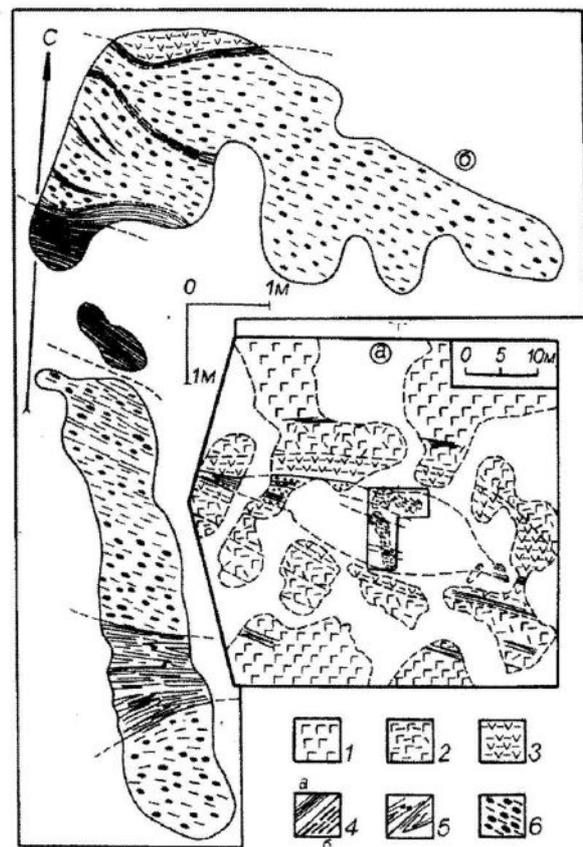


Рис. 2. Зарисовка участка (а) и фрагмента обнажения (б) эруптивных брекчий (конгломерато-брекчий ?) г. Ельнюн-II Чунозёрской зоны: 1 – метагаббро; 2 – метагаббро рассланцованное; 3 – тёмно-серый амфиболит по метагаббро-диабазу; 4 – зоны интенсивного рассланцевания по метагаббро-диабазу и эруптивным брекчиям (а), полосчатые амфиболовые сланцы с фрагментами замков сдвиговых изоклинальных складок и обломками мелкозернистых амфиболитов; 6 – эруптивная брекчия («интрузивные конгломераты») с фрагментами тёмно-серых амфиболитов и редкими фрагментами мезократовых и лейкократовых плагиоамфиболитов (метадиоритов и метагранитов ?).

Fig. 2. Sketch of the area (a) and a fragment of the outcrop (b) of eruptive breccias (conglomerate breccias ?) mountain Yelnyun-II of the Chunozero zone: 1 - metagabbro; 2 – foliated metagabbro; 3 - dark grey amphibolite by metagabbro-diabase; 4 – zones of intensive foliations of metagabbro-diabase and eruptive breccia (a), banded amphibole schists after eruptive breccia; 5 - banded amphibole schist with fragments of curve of shear isoclinal folds and fine-grained amphibolites; 6 - eruptive breccia ("intrusive conglomerates") with fragments of dark-gray amphibolites and rare fragments of mesocratic and leucocratic plagioclase amphibolites (metadiorites and metagranites ?).

В северной части обнажения есть чёткий контакт метаморфизованного габбро с эруптивной брекчией. В пределах обнажения чередуются в разной степени метаморфизованные и рассланцованные эруптивные брекчии – от слабо рассланцованных до линейнополосчатых сланцев. Один из фрагментов обнажения сложен проблематичными породами, очень похожими на конгломерато-брекчии. Однозначно природа его пока не решена.

Таким образом, конгломератоподобные породы, описанные как конгломераты [10] или как «магматические конгломераты» [9] имеют явно эндогенную природу. Обломки и цементирующая масса сохранили реликты магматических структур и минералов: в «обломках – гранобластовая, микрогаббро-диабазовая и микрогаббровая, а в «цементирующей массе» – габбровая и друзитовая. Породы метаморфизованы в условиях амфиболитовой фации, поэтому повсеместно наблюдаются элементы гранобластовой структуры. Состав обломков (ксенолитов) однообразен, также как и состав «цемента» (матрицы). Ксенолиты по структуре и составу соответствуют меланократовому, мелкокристаллическому габбро и амфиболитам, а вторые – друзитовому габбро и габбро-нориту. Состав обломков и матрицы, их магматические структуры, а также общее пространственное геологическое положение рассматриваемых пород, являются достаточными признаками их интрузивного происхождения. На поздних этапах метаморфизма в зоне развития эруптивных брекчий и в секущей зоне происходило частичное и неравномерное дробление пород и насыщение их жильным гранодиоритовым материалом с последующим дроблением и рассланцеванием. Поэтому в некоторых участках эти породы трудно отличимы от конгломерато-брекчий. Не исключено, что в некоторых участках могут быть ксенолиты конгломерато-брекчий. Этот вопрос требует дальнейших исследований.

II. Конгломерато-брекчии г. Руапнюн («руапнюнские»). На западном склоне г. Руапнюн (32°15'20" восточной долготы, 67°43'35" северной широты) на небольшой вершинке с крутым рельефом был обнаружен останец (~150×15-40 м), а в 70 м к северо-востоку от него на склоне г. Руапнюн – линза (~20×100м) метаморфизованных пород с обломочными текстурами (рис. 3).

При детальном картировании участка удалось выяснить, что породы с обломочными текстурами не жерловые образования, а типичные конгломерато-брекчии вулканогенно-осадочного происхождения (туфокогломераты), образовавшиеся в условиях синхронного осадконакопления и вулканизма, затем метаморфизованные и нерассланцованные. В палеопротерозое метаморфизованные конгломерато-брекчии прорваны габбро-норитами (позднее амфиболизироваанными), друзитовыми метагаббро, габбро-диабазами (долеритами) и плагиомикроклиновыми гранитами (рис. 3).

Конгломерато-брекчии не сортированы, т.е. не имеют признаков градационной слоистости. Обломки составляют примерно 80% от общего объёма, а цемент – около 20%. Преобладает обломочный материал угловато-округлённой формы. Округлые гальки и валуны присутствуют в количестве ~15–30% от общего объёма обломков и сложены плагиогранитами, grano-диоритами, диоритами, габбро-диоритами и реже амфиболитами (рис 4).

Размеры галек и валунов, сложенных породами кислого и среднего состава от 0.5 см до 20 см. Угловато-округлённые обломки в количестве ~70–85% от общего объёма обломков и сложены амфиболитами по метабазальтоидам, метапорфиритам и метадолеритам. Их размер варьирует от 0.5×1.0 см до 4×7 см.

Цемент метаконгломерато-брекчий от мезо- до меланократового, сложен в основном метаморфизованным мелкообломочным пирокластическим материалом и по составу соответствует грауваккам. Структура цемента микро-

средне и крупногранобластовая до гетерогранобластовой. Угловато-округлённые обломки амфиболитов имеют в основном микрогранобластовую структуру, а в окатанных гальках гранита сохранились гранитные структуры. Осветлённые каймы (толщиной около 1-2 мм) вокруг угловато-округлённых обломков метаэффузивов вероятнее всего могут быть зонками закалки (но не исключается и экзогенная природа), а лейкократовые каймы вокруг окатанных галек и валунов можно рассматривать как корки выветривания, образовавшиеся в аквальных либо аэральных условиях (рис 5).

Если бы это были реакционные метаморфические или ороговикованные каймы, то они бы были у всех обломков, а этого не наблюдается. Кроме того, их расположение подчинялось бы другим закономерностям: 1 – состав кайм зависел бы от состава обломков; 2 – они были бы, в основном, однотипны по минеральному составу и обязательно вокруг всех обломков одного состава, чего также не наблюдается.

Признаками, подтверждающими генезис этих пород как конгломерато-брекчий (или туфоконгломератов), являются: пёстрый состав галек и обломков, резко отличающийся от окружающих пород; разные структуры обломков и цемента; разные парагенетические ассоциации минералов в цементе и обломках и гальках; форма обломков и пространственное расположение их в основной массе (матрице) характерны для конгломерато-брекчий, но никак не для пород жерловой фации, агматитов или тектонитов. Это «смешанные» вулканогенно-осадочные образования оползневой типа, которые могли сформироваться в зонах проявления синхронного седиментогенеза и вулканизма (задуговой бассейн?).

Метаморфизованы конгломерато-брекчии в условиях от амфиболитовой до гранулитовой фации. Можно предположить, что термальный метаморфизм

был наложен на более ранний региональный метаморфизм.

Основными метаморфическими минералами являются амфибол (обыкновенная роговая обманка), плагиоклаз среднего состава и редко гранат. В цементе и в краях нескольких галек наблюдаются парагенные минералы гранулитовой фации метаморфизма – мелкие зёрна гиперстена, ярко-красного граната и кирпично-красного биотита.

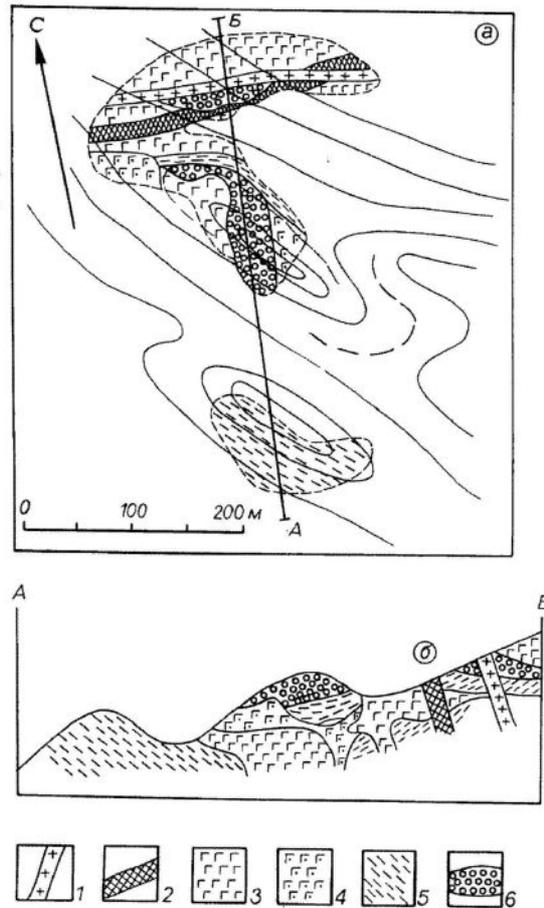


Рис. 3. Геологическая схема участка (а) и разрез (б) конгломерато-брекчий горы Руапнюн Чунозёрской зоны: 1 – плагио-микроклиновые гранитоиды; 2 – габбро-диабазы; 3 – габбро амфиболизированное; 4 – метагаббро; 5 – полевошпатовые полосчатые амфиболиты и мезократовые амфиболовые сланцы (по базальтоидам, туфам, габброидам); 6 – конгломерато-брекчии.

Fig. 3. Geological scheme of the area (a) and section (b) of conglomerate-breccias of mount Ruapnyun of the Chunozero zone: 1-plagio-microcline granitoids; 2-gabbro-diabases; 3- amphibolized gabbro; 4-metagabbro; 5- feldspar-banded amphibolites and mesocratic amphibolite schist (after basaltoids, tuffs, gabbroids); 6 – conglomerate-breccias.

Это свидетельствует о термальном гранулитовом метаморфизме, обусловленном прогревом интрузиями микрогабродолеритов и габбро, которые прорывают толщу амфиболитов и конгломерато-брекчий. Поздние секущие жилы гранитов не внесли существенного вклада в прогрев и метаморфизм пород.



Рис.4. Фотография образца конгломерато-брекчий.

Fig. 4. Hand sample photo of conglomerate-breccias.



Рис.5. Фотография образца конгломерато-брекчий.

Fig. 5. Hand sample photo of conglomerate-breccias.

Возраст конгломерато-брекчий.

Из конгломерато-брекчий для определения состава и возраста галек и валунов гранитов были отобраны 4 пробы: две из двух валунов около 17 см в

диаметре, одна из двух крупных галек и одна из нескольких мелких галек. Из каждой пробы были выделены цирконы и разобраны на морфотипы, которые были проанализированы только методом ТИЭ (термоионной эмиссии свинца). Морфотипы цирконов из одного валуна имеют возраста 2515 ± 55 , 2500 ± 100 , 2520 ± 40 млн. лет, из галек – $\sim 2.4-2.5$ млрд. лет, а из самого крупного валуна второй морфотип циркона имеет возраст 2750 ± 50 млн. лет. Если предполагать, что образование цирконов с возрастом около 2.4-2.5 млрд. лет произошло в результате прогрева в процессе термального метаморфизма, а возраст циркона 2750 ± 50 млн. лет фиксирует время кристаллизации гранитов, то образование конгломерато-брекчий произошло в интервале 2.75-2.5. млрд. лет, т.е. в позднеархейское (позднелопийское) время.

Кроме того, габбронориты, в которых выявлены ксенолиты конгломерато-брекчий по петрохимическим признакам аналогичны габброноритам Вочеламбинского зеленокаменного пояса (ВЗП), возраст которых 2491 ± 13 млн. лет [4].

Таким образом, ельяврские и руапнунские конгломерато-брекчий могут быть генетическими, структурными, фациальными и возрастными аналогами неоархейских «вочеламбинских» конгломерато-брекчий второй толщи Вочеламбинского зеленокаменного пояса (ВЗП) [3].

Химический состав и природа конгломерато-брекчий.

Для определения состава пород областей сноса (источников метаконгломерато-брекчий) и сопоставления состава обломочного материала метаконгломерато-брекчий с архейскими метаконгломератами Кольского региона и древнейшими гранитоидами были проанализированы гальки и обломки пород, преобладающих в составе метаконгломерато-брекчий (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1.

Химический состав галек (1-7), обломков (8-12) и цемента (13) конгломератобрекчий Чунозёрской зоны / Chemical composition of pebbles (1-7), fragments (8-12) and cement (13) of the conglomerate-breccias of the Chunoserо zone.

№	№ пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
1	735-3-2-1	59.48	0.27	20.67	0.87	2.00	0.04	1.36	5.73	6.42	1.48
2	735-6-4-1	70.10	0.19	16.06	0.76	0.86	0.03	0.49	4.07	4.60	1.55
3	936-6-1	67.99	0.26	16.96	0.84	0.94	0.024	0.82	5.27	5.58	0.51
4	936-6-3	70.79	0.05	14.40	0.86	1.09	0.023	0.57	3.81	4.64	1.20
5	936-6-2	67.32	0.34	16.89	0.74	1.20	0.023	0.89	4.33	5.70	1.40
6	936-6-4	71.56	0.15	15.87	0.60	0.58	0.018	0.51	4.07	5.21	0.46
7	735-4-2-1	69.74	0.25	15.67	0.95	1.10	0.025	1.00	3.86	4.48	1.43
8	735-6-4-2	53.93	0.65	15.07	2.96	5.94	0.15	5.37	8.93	4.20	0.72
9	735-3-3-1	53.24	0.75	15.48	1.92	6.67	0.13	5.71	8.93	4.33	0.75
10	735-2-2-1	53.29	0.66	16.32	5.10	3.62	0.11	5.24	9.36	4.62	0.56
11	735-4-2-2	53.68	0.77	15.42	3.13	5.56	0.13	5.30	9.14	4.34	0.65
12	735-7-1	57.40	0.75	15.03	2.46	5.87	0.096	4.43	7.68	3.40	0.74
13	735-3-1-1	51.76	0.96	14.53	2.61	9.91	0.15	6.00	8.73	2.77	0.60

Гальки плагиогранитоидов и гранодиоритов низкожелезистые с натровым уклоном, что в целом соответствует химическому составу галек базальных неархейских конгломератов Кольского региона.

По щелочному модулю и содержанию кремнекислоты обломки плагиогранитоидов соответствуют тоналитам и плагиогранитам инфракомплекса и обломкам аналогичных пород из конгломерато-брекчий Вочеламбинского зеленокаменного пояса (рис.6). Но по содержанию Rb и Sr они подобны тоналитовым плутонам провинции Барбертон и в меньшей степени древнейшим гранитам и тоналитам Карелии и Кольского полуострова (рис. 7).

Угловатые обломки метабазитов по соотношению щелочей и кремнезёма, а также по некоторым другим петрогенным элементам, аналогичны обломкам амфиболитов из конгломерато-брекчий

и амфиболитам второй толщи Вочеламбинского зеленокаменного пояса (рис. 8).

По щелочному модулю и содержанию кремнекислоты гальки плагиогранитоидов соответствуют тоналитам и плагиогранитам инфракомплекса и галькам аналогичных пород из конгломерато-брекчий Вочеламбинского зеленокаменного пояса. Но по содержанию Rb и Sr они подобны тоналитовым плутонам провинции Барбертон и в меньшей степени древнейшим гранитам и тоналитам Карелии и Кольского полуострова. Угловатые обломки метабазитов по соотношению щелочей и кремнезёма, а также по некоторым другим петрогенным элементам, аналогичны обломкам амфиболитов из конгломерато-брекчий и амфиболитам второй толщи Вочеламбинского зеленокаменного пояса.

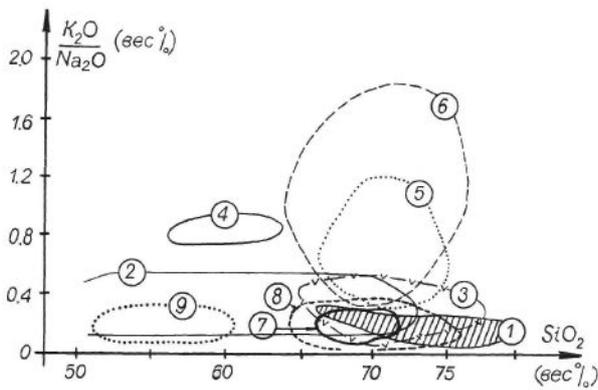


Рис. 6. Диаграмма $K_2O/Na_2O - SiO_2$: сопоставление состава галек и обломков конгломератобрекчий Чунозёрской зоны с основными типами гранитоидов Кольского региона.

1-6 – поля фигуративных точек анализов пород по [2]: 1 – гальки древнейших конгломератов; 2 – пироксенсодержащие гранитоиды; 3 – биотитовые и амфибол-биотитовые тоналиты и плагиограниты; 4 – кварцевые порфириды и гранодиоритпорфириды; 5 – гранодиориты; 6 – микроклинизированные плагиогранито-гнейсы и порфиробластические граниты-метасоматиты по древнейшим гранитоидам. 7-9 – поля фигуративных точек анализов галек и обломков конгломератобрекчий Чунозёрской зоны: галек плагиогранитов (7) и обломков метабазитов (9) конгломератобрекчий участка г. Руапнюн; галек плагиогранитов (8) конгломератобрекчий Вочеламбинского полигона Чунозёрской зоны.

Fig. 6. $K_2O/Na_2O - SiO_2$ diagram: comparison of the composition of pebbles and fragments of breccia conglomerates in the Chunozero zone with the main types of granitoids in the Kola region.

1-6 – fields of figurative points of analysis of the rocks [2]: 1 – pebbles of the oldest conglomerates; 2 – pyroxene – containing granitoids; 3-biotite and amphibole-biotite tonalites and plagiogranites; 4 – quartz porphyritic and granodiorite porphyritic; 5 – granodiorites; 6-microclinized plagiogranite-gneiss and porphyroblastic granites-metasomatites from the oldest granitoids. 7-9 – fields of figurative points of analyses of pebbles and fragments of conglomerate-breccias Chunozero zone: stones of plagiogranites (7) and fragments of metabasites (9) conglomerate-breccias on the Ruapnyun mountain; pebbles of plagiogranites (8) conglomerate-breccias Voche-Lambina polygon Chunozero zone.

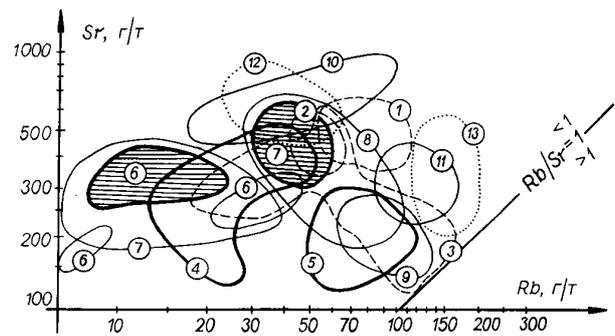


Рис. 7. Диаграмма (Sr – Rb): сопоставление пород Чунозёрской зоны с породами Вочеламбинского полигона, гранитоидами Терского блока Кольского региона и гранитоидами раннего докембрия мира.

I – поля фигуративных точек анализов [6] (штрих-пунктирные линии): 1 – олигоклазовые граниты Карелии; 2 – тоналиты плутонов Барбертон, Южная Африка; 3 – граниты Готхоб, Юго-Западная Гренландия. II – поля фигуративных точек анализов пород Чунозёрской зоны (жирные линии): 4 – габбро и метагаббро; 5 – метандезитодациты Кислой губы; 6 – обломки метабазитов и 7 – гальки плагиогранитов вконгломератобрекчий участка «Руапнюн». III – поля фигуративных точек анализов пород полигона «Вочеламбина» [3] (тонкие линии): 6 – эцлогиты; 7 – габбро, метагаббро и габбро-диабазы; 8 – плагиограниты γ_{1-3} ; 9 – гнейсы по метадацитам; 10 – гранитоиды γ_{4-8} ; 11 – плагиомикроклиновые гранитоиды. IV – поля фигуративных точек анализов пород Терского блока Кольского региона (точечные линии): 12 – плагиограниты и тоналиты; 13 – плагиомикроклиновые гранитоиды.

Fig. 7. Diagram (Sr – Rb): comparison of species Chunozero zone with rocks Voche-Lambina polygon, granitoids of the Terskiy block of the Kola region and granitoids of the early Precambrian in the world.

I – fields of figurative points of analyses [6] (dashed lines): 1- oligoclase granites of Karelia; 2- tonalites of plutons of Barberton, South Africa; 3- Gothob granites, South-West Greenland. II – fields of figurative points of analyses of rocks Chunozero zone (bold line): 4 – gabbro and metagabbro; 5 – meta andesitodacites Kislaya-guba; 6 – fragments of meta and 7 – plagiogranites pebbles of the conglomerate breccias site "Ruapnyun". III-fields of figurative points of analysis of rocks of the VocheLambina polygon [3] (thin lines): 6-eclogites; 7-gabbro, metagabbro and gabbro-diabases; 8-plagiogranites γ_{1-3} ; 9-gneisses on metadacites; 10-granitoids γ_{4-8} ; 11-plagiomicrocline granitoids. IV - fields of figurative points of analysis of rocks of the Terskiy block of the Kola region (point lines): 12 – plagiogranites and tonalites; 13 – plagiomicrocline granitoids.

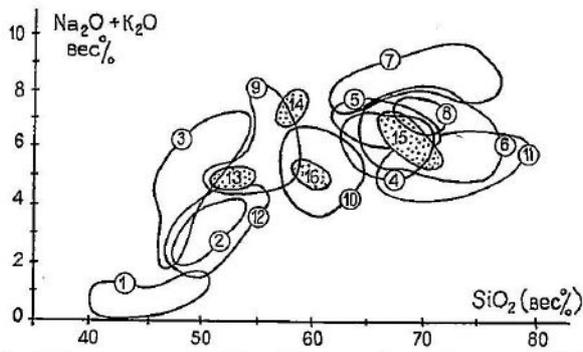


Рис. 8 Диаграмма $(K_2O+Na_2O) - SiO_2$: сопоставление состава галек и обломков конгломератобрекчий и пород Чунозёрской зоны с основными типами пород Вочеламбинского полигона.

1-10 – поля фигуративных точек анализов пород Вочеламбинского полигона по рисунку Т.Ф. Негруцы [3; рис. 50]: 1 – ультрабазиты; 2 – габбро; 3 – метагаббро и габбро-амфиболиты; 4 – плагиограниты и тоналиты; 5 – биотит-амфиболовые гнейсы (метадациты), 6 – гальки безмикроклиновых плагиогранитов и тоналитов; 7 – гальки микроклинсодержащих плагиогранитов и тоналитов; 8 – обломки гнейсов; 9 – обломки метабазитов; 10 – цемент конгломератобрекчий. 11 – гальки плагиогранитов в архейских конгломератах Кольского региона по О.И. Лунёвой [7]. 12-15 – поля фигуративных точек анализов пород Чунозёрской зоны: 12 – габбро-диабазы, габбро и метагаббро; 13 – обломки метабазитов конгломератобрекчий и метабазитов из эруптивных брекчий участка «Ельнюн-II»; 14 – гальки габбро-диоритов; 15 – гальки плагиогранитов; 16 – цемент конгломерато-брекчий участка «Руапнюн».

Fig. 8. Diagram $(K_2O+Na_2O) - SiO_2$: comparison of the composition of pebbles and fragments of the Chunozero Zone conglomerate breccias and rocks with the main rock types of the Vochelambinsky polygon.

1-10 - fields of figurative points of analysis of rocks of Vochelambinsky polygon on drawing by T.F. Negrutsa [3; fig. 50]: 1 - ultrabasites; 2 - gabbro; 3 - metagabbro and gabbro-amphibolites; 4 - plagiogranites and tonalites; 5 - biotite amphibole gneisses (metadacites), 6 - pebbles of microcline plagiogranites and tonalites; 7 - pebbles of microcline-containing plagiogranites and tonalites; 8 - gneiss fragments; 9 - fragments of metabasites; 10 - cement of the conglomerate breccia. 11 - plagiogranite pebbles in Archean conglomerates of the Kola region by O.I. Luneva [7]. 12-15 - fields of figurative points of analysis of rocks of the Chunozero zone: 12 - gabbro-diorite, gabbro and metagabbro; 13 - fragments of metabasites of conglomerate breccias and metabasites from eruptive breccias of the Yelnyun-II section; 14 - pebbles of gabbro-diorites; 15 - pebbles of plagiogranites; 16 - cement of the Ruapnyun section of conglomerate breccias.

Выводы

1. Находки в районе г. Руапнюн (в прикровлевой части интрузии), а также в районе г. Ельвяруайвенч и отрога Ельнюн-II (в прикровлевой части габбрового массива Ельнюн) крупных ксенолитов конгломерато-брекчий и реликтов полосчатых амфиболитов свидетельствуют о существовании в Чунозёрской зоне супракрупстальных пород (как минимум, конгломерато-брекчий и метаэффузивов) до внедрения интрузии;
2. Конгломерато-брекчии Чунозёрской зоны по многим петрохимическим параметрам аналогичны конгломерато-брекчиям Вочеламбинского зеленокаменного пояса и расположены от них в 10 и 35 км западнее. Они являются реликтами прибрежных фаций оползневого (турбидитового) типа, вероятно, неоархейского (позднелопийского) задугового бассейна, в котором осадконакопление происходило синхронно с вулканизмом.
3. Наличие большого количества эруптивных брекчий, а также ксенолитов конгломерато-брекчий и амфиболитов кровли, распространённых широко по площади массива, свидетельствует о принадлежности коренных выходов габброидов к прикровлевой части интрузии Ельнюн.
4. В позднем архее конгломерато-брекчии были метаморфизованы в амфиболитовой фации. В палеопротерозое конгломерато-брекчии в районе г. Руапнюн претерпели второй (?) термальный субгранулитовый метаморфизм, а в районе г. Ельвяруайвенч и отрога Ельнюн-II – амфиболитовый.

Литература / Reference

1. Геологическая карта Мурманской области. Масштаб 1:1000000. Редактор Л.Я. Харитонов, 1958. [Geological map of the Murmansk region. The scale is 1:1000000. Editor L.Ya. Kharitonov, 1958. (in Russian)]
2. Виноградов А.Н., Свириденко Л.П. Раннедокембрийские конгломераты Балтийского щита, как индикаторы исходного состава первичнокоровых гранитов

// Древнейшие гранитоиды Балтийского щита. Апатиты: изд. Кольского филиала АН СССР, 1979. – С. 43-50. [Vinogradov A.N., Sviridenko L.P. Early Cambrian conglomerates of the Baltic Shield as indicators of initial structure of primary crust granites // The most ancient granitoids of the Baltic Shield. Apatity: ed. of the Kola Branch of the ANSSSR, 1979. – С. 43-50. (in Russian)]

3. Воше-Ламбинский архейский геодинамический полигон Кольского полуострова (ред.: Ф.П. Митрофанов, В.И. Пожиленко). – Апатиты, изд.: КНЦ РАН, 1991. – 140 с. [Voche-Lambinsky Archean Geodynamic polygon of the Kola Peninsula (ed.: F.P. Mitrofanov, V.I. Pozhilenko). - Apatity, ed.: KSC RAS, 1991. – 140 с. (in Russian)]

4. Кислицын Р.В., Балаганский В.В., Манттари И., Ганнибал Л.Ф., Пожиленко В.И., Рюнгенен Г.И. U-Pb-возраст цирконов из габброноритов и габброанортозитов полигона Воше-Ламбина, Кольский п-ов // Вестн. МГТУ. Т. 3, №2, 2000. – С. 307-314. [Kislitsyn R.V., Balagansky V.V., Manttari I., Hannibal L.F., Pozhilenko V.I., Ryungenen G.I. U-Pb-Zircon recovery from gabbro-norites and gabbroanortozites of Voche-Lambina polygon, Kola Peninsula // Vestnik. MSTU. Т. 3, №2, 2000. – С. 307-314. (in Russian)]

5. Князев О.Т., Маркитахина Т.М. Базальтоидный некк в габбро-норитах Нярк-тундры // Вулканизм и седиментогенез докембрия Кольского полуострова. Апатиты: Кольского филиала АН СССР, 1982. – С. 115-120. [Knyazev O.T., Markitakhina T.M. Basaltoid necca in gabbro-norites of Nyark tundra (in Russian) // Volcanism and sedimentogenesis of the Kola Peninsula precambrian. Apatity: Kola Branch of the USSR Academy of Sciences, 1982. – С. 115-120. (in Russian)]

6. Крылова И.Н., Лобач-Жученко С.Б. Рубидий и стронций в древних гранитах и метавулканитах Центральной Карелии // Проблемы датирования докембрийских образований. Л.: «Наука», 1977. – С.211-224.

[Krylova I.N., Lobach-Zuchenko S.B. Rubidiy and strontium in anciently granites and metavulcanites of Central Karelia // Problems of Dating of Pre-Cambrian Formations. L.: "Nauka", 1977. – С.211-224. (in Russian)]

7. Лунёва О.И. Докембрийские конгломераты Кольского полуострова. М.: изд. «Наука», 1977. – 220 с. [Luneva O.I. Pre-cambrian conglomerates of the Kola Peninsula. Moscow: ed. "Nauka", 1977. – 220 с. (in Russian)]

8. Пожиленко В.И., Гавриленко Б.В., Жиров Д.В., Жабин С.В. Геология рудных районов Мурманской области (под редакцией Митрофанова Ф.П., Бичука Н.И.). – Апатиты: изд. Кольского научного центра РАН, 2002. – 359 с. [Pozhilenko V.I., Gavrilenko B.V., Zhirov D.V., Zhabin S.V. Geology of ore districts of Murmansk region (under edition of Mitrofanov F.P., Bichuk N.I.). - Apatity: ed. by the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2002. – 359 с. (in Russian)]

9. Соустов Н.И. Геолого-петрографический очерк восточных предгорий Чуна-тундры на Кольском полуострове // Материалы по петрографии Кольского полуострова (редакторы Н.И. Соустов и Б.М. Куплетский). Тр. ин-та геол. наук, вып. 2. М.: АН СССР, 1938. – С. 1-32. [Soustov, N.I. Geological and petrographic sketch of the eastern foothills of Chuna-tundra on the Kola Peninsula (in Russian) // Materials on petrography of the Kola Peninsula (edited by N.I. Soustov and B.M. Kupletskiy). Proceedings of the Institute geo. science, issue 2. М.: USSR Academy of Sciences, 1938. С. 1-32. (in Russian)]

10. Судовиков Н.Г. Материалы по геологии ЮЗ части Кольского полуострова // Тр. Лен. геол. треста. Вып. 10. Л.-М.: АН СССР, 1935. – 30 с. [Sudovikov, N.G. Materials geology on South-West part of the Kola Peninsula // Proc. of Intern. Len. geol. trust. Issue. 10. L.-M. ANSSR, 1935. – 30 с. (in Russian)].



PRIMARY NATURE OF NEORHEAN ROCKS WITH CLASTIC TEXTURES (KOLA REGION OF THE NORTH-EASTERN PART OF THE FENNOSCANDINAVIAN SHIELD)

Pozhilenko V.I.

Geological Institute of the Kola scientific centre, RAS, Apatity, Russia

E-mail: pozhil@geoksc.apatity.ru

Abstract: The Chunozero zone is located in the central Kola peninsula. Conglomerate-breccias have been discovered and studied in two areas within this zone (the first is situated on the Ruapnyun mountain, 32°15'20" E, 67°43'35" N; the second on the El'yavruaivench mountain, 32°40'50" E, 67°39'20" N). These are similar to conglomerate-breccias in the second unit of the Voche-Lambina greenstone belt. Magmatic breccias have been discovered and studied a few areas within this zone. Three groups of outcrops are located on a spur of the El'nyun-II mountain (1: 32°36'45" E, 67°39'30" N; 2: 32°37'14" E, 67°39'27" N; 3: 32°37'18" E, 67°39'25" N), and one group of outcrops on the Ruapnyun mountain (32°40'50" E, 67°39'20" N). Fragments are composed of amphibolites and metamicrogabbros and are cemented by metagabbro.

Key words: Fennoscandian shield, Kola region, Neoproterozoic, conglomerate-breccia, eruptive breccia.

© Пожиленко В.И., 2020

STUDY OF LINEARLY EXTENDED ZONE OF SOUTHERN CASPIAN SEA AND ZAGROSSKY OVERLAP FAULT ON THE BASIS OF THE GEOLOGO-GEOPHYSICAL DATA

Beglyar Aslanov Suleyman	Arastun Khuduzadeh Ismail	Fidan Aslanzade Beglyar	Raksana Asgerova Akber
Oil Gas Scientific Research Project Institute, SOCAR	SOCAR, Azneft Production Association	Azerbaijan State University of Oil and Industry	Institute of Petroleum and Gaz
beyler@inbox.ru	a.xuduzade@gmail.com	fidan_aslanzade@mail.ru	askerova-roksana@rambler.ru

Abstract: Researchers and scientists in the field of geodynamics and geotectonics know that the northeastern outskirts of the African-Arabian continent experienced a collision with the Iranian plate in the Cenozoic time. As a result, oil and gas bearing structures of the Zagros and Absheron-Balkhan folded cover zones were formed, which are possible relics of the Paleotetis ocean. In other words, the thorough formation of these folds of the earth's crust, the result of pushing on the edge of the platform of the oceanic marginal systems of the southwestern periphery of the Paleotetis.

Keywords: Absheron-Balkhan zone of uplifts, Mesopotamian and Pirallahi-Kelkorsky deflections, foundation.

1. Introduction

Zagros Thrust System (ZTS) and the Absheron-Balkhan zone (ABZ) rises imposed on the cutting-edge deflections: respectively Mesopotamian and Pirallahi-Kelkorsky. ZTS and ABZ, are the richest oil and gas regions. Such a coincidence or accident related to the geological evolution of the region as a whole? What is the nature of these fields? Where there was oil, when, where and how it was moved to the current layer?

The giant hydrocarbon (HC) deposits distribution is observed mainly in the connection zone of large tectonic elements of the Earth. These regions are the Persian Gulf, Alaska Basin, Venezuela Basin, South Caspian Basin and etc. From the view of global tectonics theory, the formation of oil is the result of sublimation and thermal cleavage of substances, which tightened along with oceanic sediments in subduction zone of lithosphere plates. This idea was put forward for the first time in 1970, and in the future, this possible mechanism of formation of oil studied by many researchers (H.Hedberg, 1970; A.V.Bahrami, 1987; A.A.Abidov, 1988; L.I.Lobkovsky, V.E.Hain, 2007).

2. Materials and Methods

The investigated region is located between large Eurasian and Arabian litho-

sphere plates and relates to the seismic active zone. Zone refers to the Caucasian segment of the Alpine-Himalayan mobile belt (AHMB) and characterized by abrupt contrast and intensity of magmatic processes, unusual high tectonic and geodynamic activity and mobility, a large network of different oriented faults, which are potential migration pathways for minerals, including hydrocarbons. Tectonic and geodynamic features of the area covered in some detail in [1÷4], in this article it would be briefly noted.

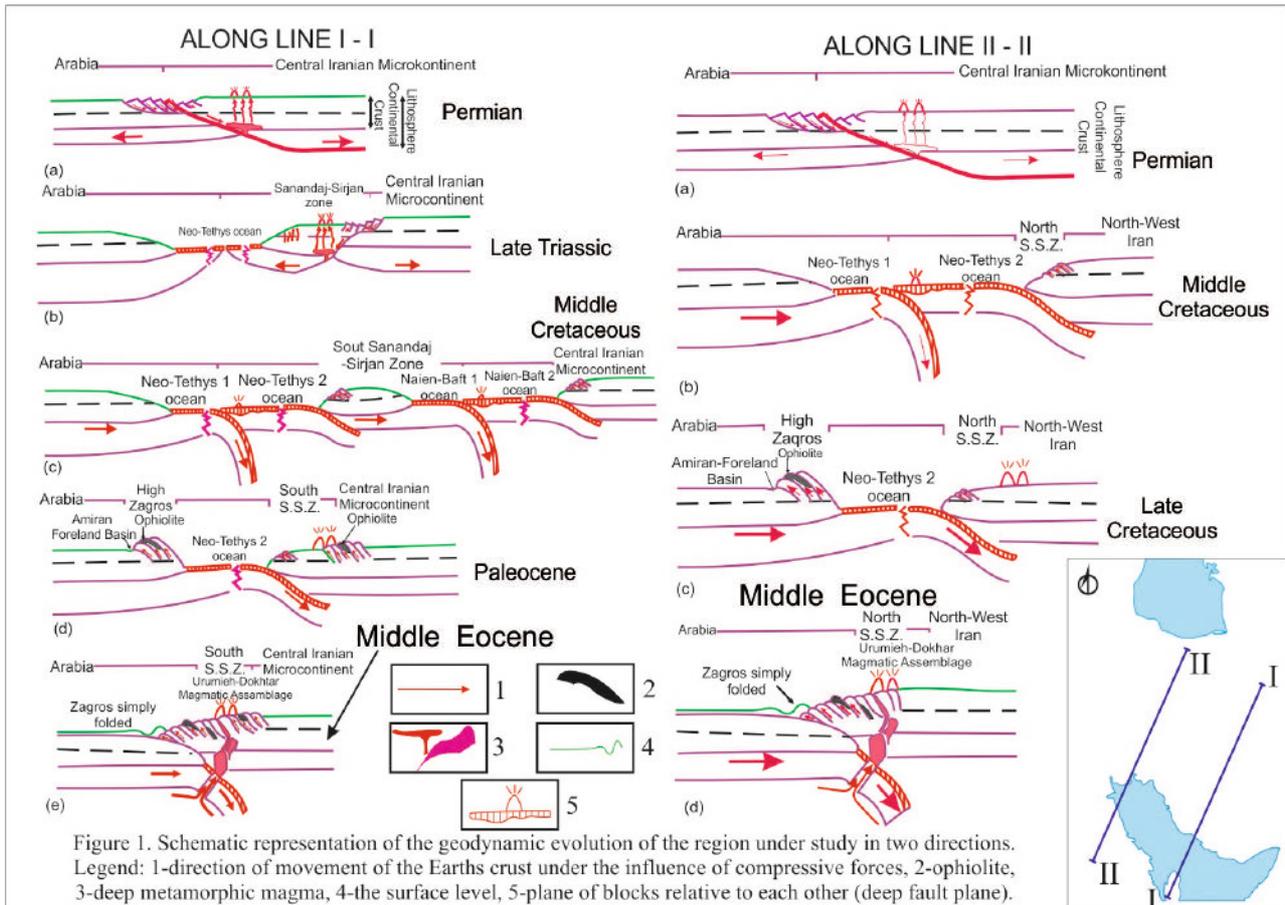
It is known that the North-East edge of the Afro-Arabian continent experienced collision with the Iranian plate in Cenozoic epoch. Intensive bending of the Earth's crust territory is the result of thrusting on the edge of the platform island arc systems of southwestern periphery of the Tethys Ocean.

Geological and tectonic evolution of the region is schematically illustrated in Figures 1÷5. According to these figures clearly show what role was played by the compression force under the pressure of the Arabian syntax.

During Mesozoic epoch the development of tectonic core elements of the region, which is schematically illustrated in figure 1 in two cross-sections [5], is present every main stages of its formation, horizontal and oncoming movement of Afro-Arabian and Eurasian continental plates, where there

was a gradual reduction of Paleo-Tethys basin ocean to its complete disappearance. It can be seen from Figure 1, a schematic presentation of the geodynamic evolution of the region is considered on two cycles: a) involving the Triassic period (251 million years old!), when there were no major tectonic changes of the crust structure of the (Fig. 1, the profile II); b) without the Triassic period (Fig.1 profile II-II). We suppose that

the closure of Tethys Ocean in Mesozoic occurs in Cenozoic Era (23 million years ago, Eocene) as a result of subduction caused by the pressure of the Arabian syntax to the north-east. In some places the processes of subduction continues in present time, with varying degrees of intensity and activity. For example, in the northern part of the South Caspian–Absheron-Balkhani zone of uplifts, also on the north of the Persian Gulf–Zagros folding.



If to talk about perspective zones of Paleo-Thetis Ocean then it is perspective all over its periphery [2÷14]. South Caspian Basin and Persian Gulf located exactly in this region. The largest hydrocarbon reserves are concentrated in uplift zones of Absheron-Balkhani area and Zagros folding. Oil source sediments are buried mass that existed on the edges of the continents during the closure of the Tethys Ocean. Based on the theory of lithosphere plates, oil and gas basin of the Persian Gulf (OBPG) and South Caspian oil and gas province (SCOP) were analyzed, in particular, the geodynamic transformations of the geological

evolution and deep tectonic structure. Comparing these results and taking into account the re-interpretation of existing geological and geophysical data, we found a clear discrepancy in the structural-tectonic structure SCOP and OBPG, which are briefly summarized below.

Surface geological structure (oil and gas bearing strata) of Persian Gulf is complicated by the Zagros thrust, the South Caspian – by Absheron-Balkhan uplifts zone [4÷14]. Such a complication is consistent by formation of fold systems on the basis of the processes of compression and tension that continues to the present time (Fig. 2÷5).

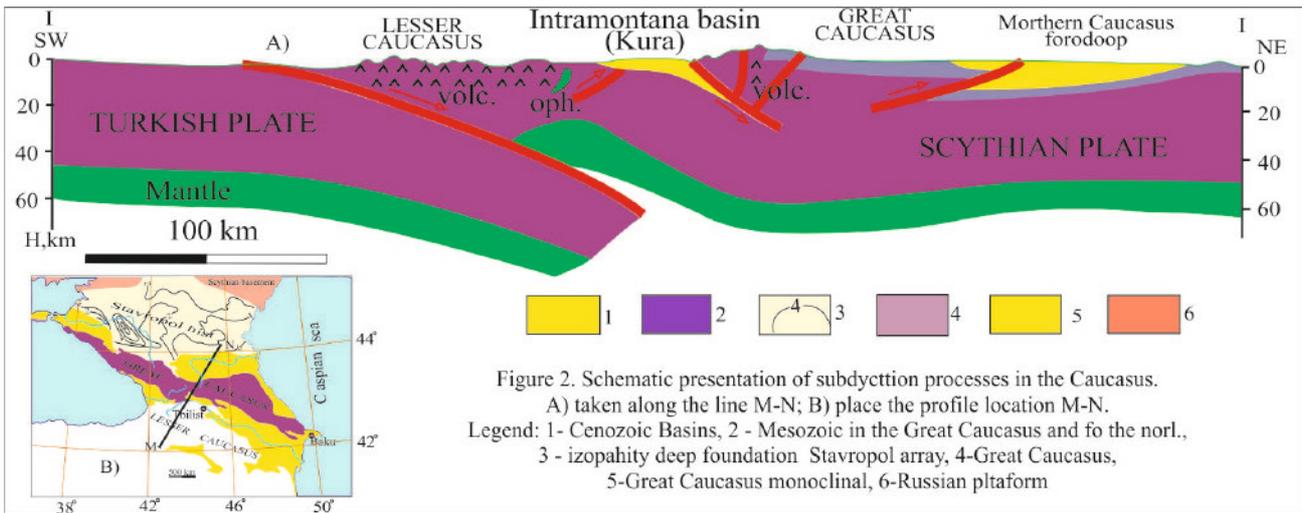


Figure 2. Schematic presentation of subduction processes in the Caucasus. A) taken along the line M-N; B) place the profile location M-N. Legend: 1 - Cenozoic Basins, 2 - Mesozoic in the Great Caucasus and for the north, 3 - isopachity deep foundation Stavropol array, 4 - Great Caucasus, 5 - Great Caucasus monoclinial, 6 - Russian platform

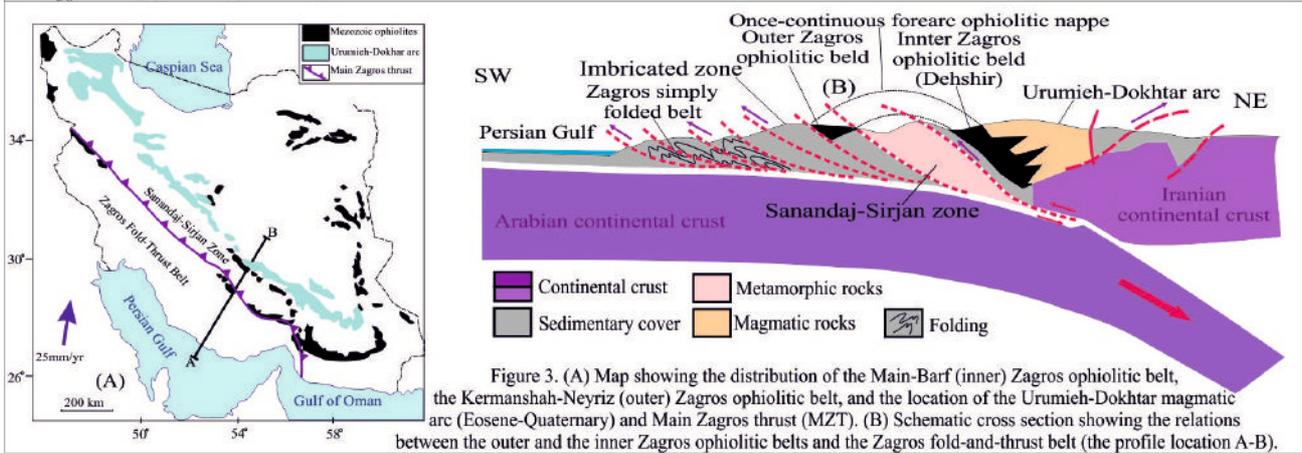


Figure 3. (A) Map showing the distribution of the Main-Barf (inner) Zagros ophiolitic belt, the Kermanshah-Neyriz (outer) Zagros ophiolitic belt, and the location of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc (Eocene-Quaternary) and Main Zagros thrust (MZT). (B) Schematic cross section showing the relations between the outer and the inner Zagros ophiolitic belts and the Zagros fold-and-thrust belt (the profile location A-B).

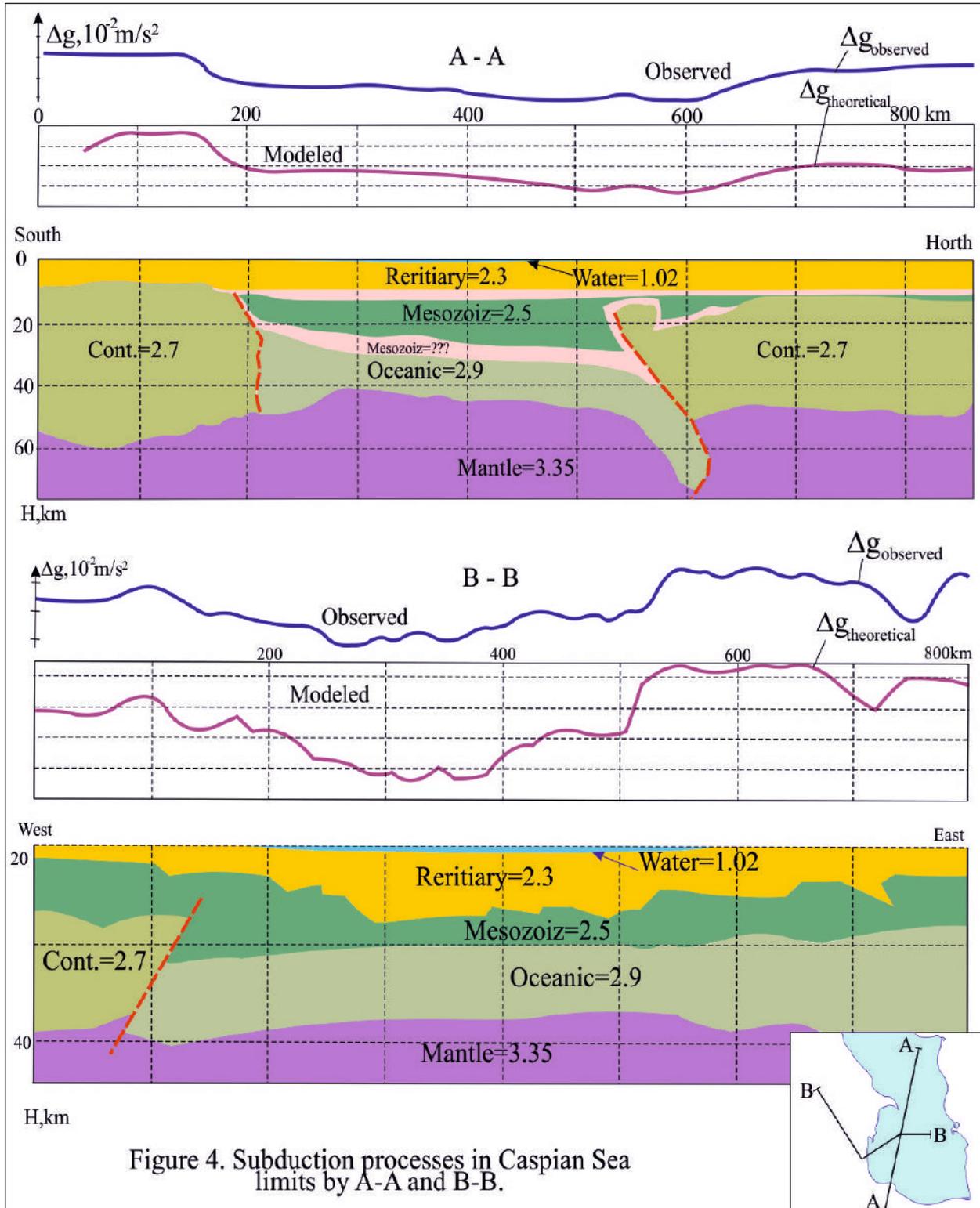
Absheron-Balkhan uplifts zone geographically is boundary, which characterized as a zone of Paleogene-Miocene folding, both tectonically are a giant structural "saddle" between the Alpine and syncline Epihercynian platform. The Zagros thrust or orogenic-fault space is complicated by the complex of the Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic sediments, formed as a result of the collision of the Arabian and Eurasian plates in the late Mesozoic and early Cenozoic. In addition, the Absheron threshold and the Zagros thrust imposed on the deep sagging. Absheron threshold for Pirallahi-Kelkor sagging (PKS) and the Zagros thrust – on the Mesopotamian. Besides, the Zagros thrust is presented by the mountain range, the stretch of which reaches up to 1300, a width to 250 and a height to 4.5 km. It is formed by powerful (8-10 km) sedimentary cover, crumpled in a large and very extended (up to 350 km) folds of the passive margin of the Arabian plate, gradually changing spread from north-west to east-north-east. It is noted and similar structures of Persian Gulf

oil fields and the South Caspian. This is further evidence that these oil provinces were formed in a single basin Paleo-Tethys, but in evolution process the mega basin was divided into the Persian Gulf and South Caspian province.

On the schematic structural map of the surface of the Moho (Fig. 6, copy from [14]), compiled from seismological data for the last 50 years (the catalog of earthquakes in the study region), there are two saggings located almost perpendicular to each other, on Northeast Zagros thrust with a stretch over 400 km with a depth more than 56 km, and within the Dashte-Lut block with a stretch of about 200 km, with a depth of 48 km. Between them, in the central part of Iran at a depth of 40 km plain comes into sight, known from the literature as Iranian plateau. Further to the north, in the southern Caspian, at a depth of 36 km uplift is allocated with an amplitude of 6 km. Sagging, located in the northeast of the Zagros thrust, in all probability, is an integral part of the Mesopotamian head, and within the Dashte-

Lut block may occur inversion structure. Is it rising on the background of deep sagging? In other words, the geological structure of the South Caspian Sea in the deep layers is superimposed mould, confined to transitional tectonic regime, i.e. from the Alpine orogenic geosyncline to Epihercynian platform.

In order to analyze the final representation of the geological structure of the study area, was analyzed gravimetric map of Iran (Fig. 7), which taken from [14] and supplemented by us. This map has been reduced to South Caspian oil and gas province map (Figure 8).



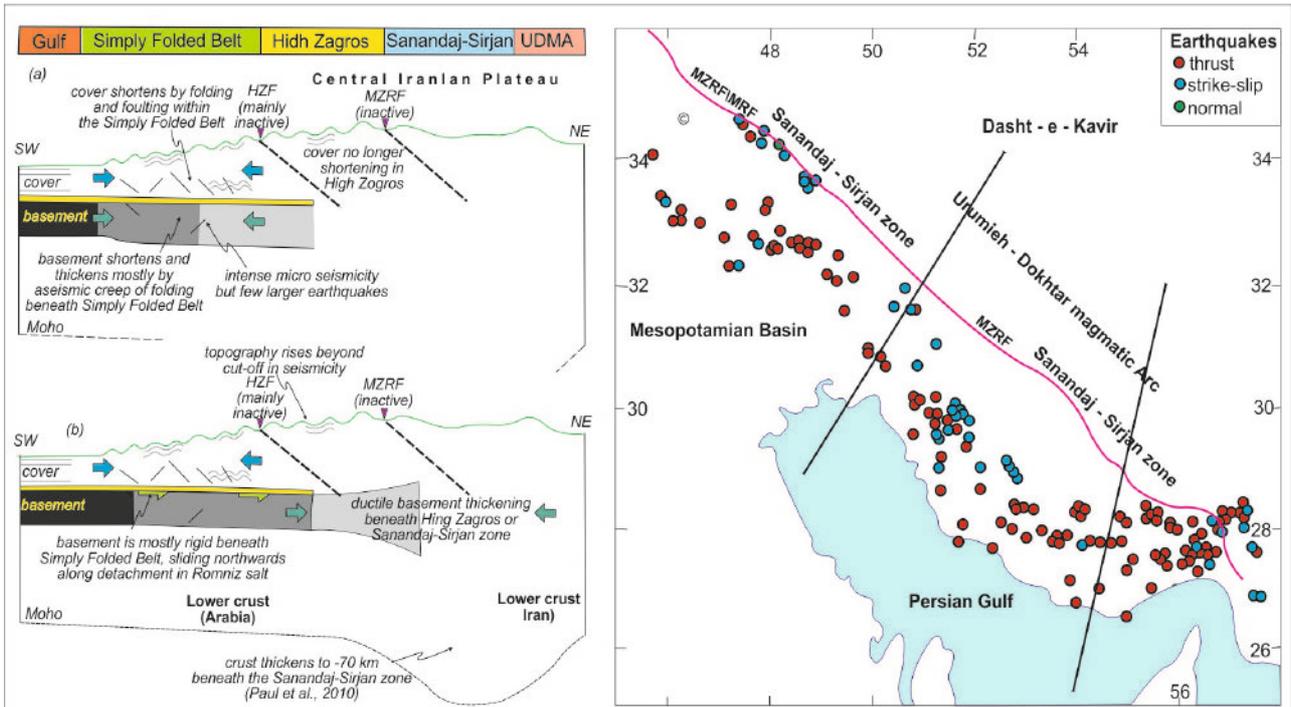


Figure 5. Schematic cross-sections showing possible mechanisms for the shortening of the Zagross basement. In (a), the seismogenic basement mainly deforms by seismic fault creep of folding (accompanied by high levels of microseismicity and are larger earthquakes) beneath the Simply Folded Belt. In (b), the basement remains mostly beneath the Simply Folded Belt, passing northwards along a low-angle detachment to deform in a ductile manner beneath the High Zagross of the Sanandaj-Sirjan. In (c), Smoothed topography and teleseismically earthquake epicenters in the Zagross.

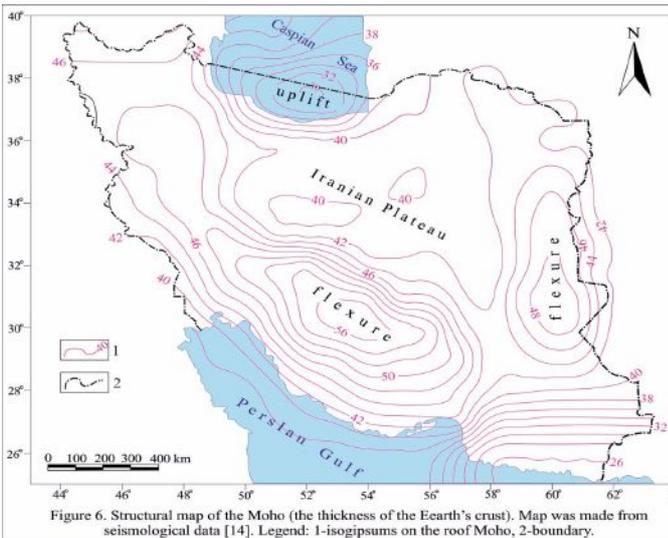


Figure 6. Structural map of the Moho (the thickness of the Earth's crust). Map was made from seismological data [14]. Legend: 1-isogipsums on the roof Moho, 2-boundary.

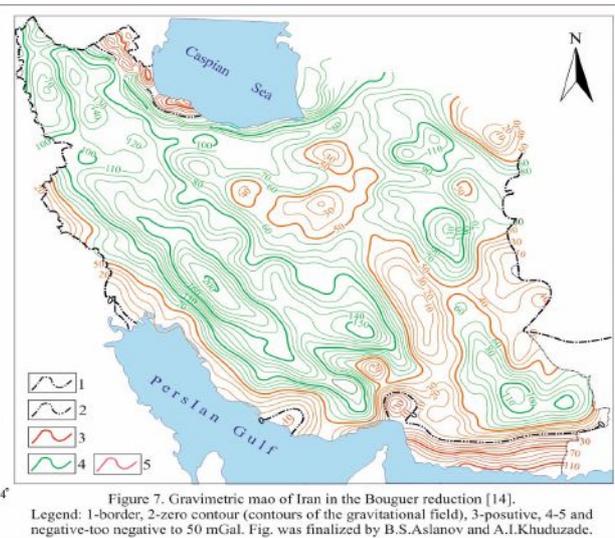


Figure 7. Gravimetric map of Iran in the Bouguer reduction [14]. Legend: 1-border, 2-zero contour (contours of the gravitational field), 3-positive, 4-5 and negative-to negative to 50 mGal. Fig. was finalized by B.S.Aslanov and A.I.Khuduzade.

Judging by the gravimetric map of Iran, along the Zagros thrust in NW-SE direction gravity minimum extends with intensity up to 300 mGal. According to geological interpretation of gravity anomalies, we can assume that this minimum is associated with the deep tectonic structure. Its parameters, i.e. the size and intensity, cannot be explained by folded structure of the Zagros thrust and by structures the Iranian plateau. Above all, this minimum on map corresponds to the north-eastern part of the Mesopotamian head (MFD).

According to V.Zabanbark [2,3], MFD has an asymmetric structure with the inner north-eastern stationed edge and outside more sloping south-western edge, superimposed on the peripheral part of the Arabian platform and adjacent to the folded structures of the Zagros Mountains. The most intensive formation of tectonic structures fixed to the outer edge, where developed extensive and relatively narrow folds that are grouped in a zone parallel to the Zagros folded structures.

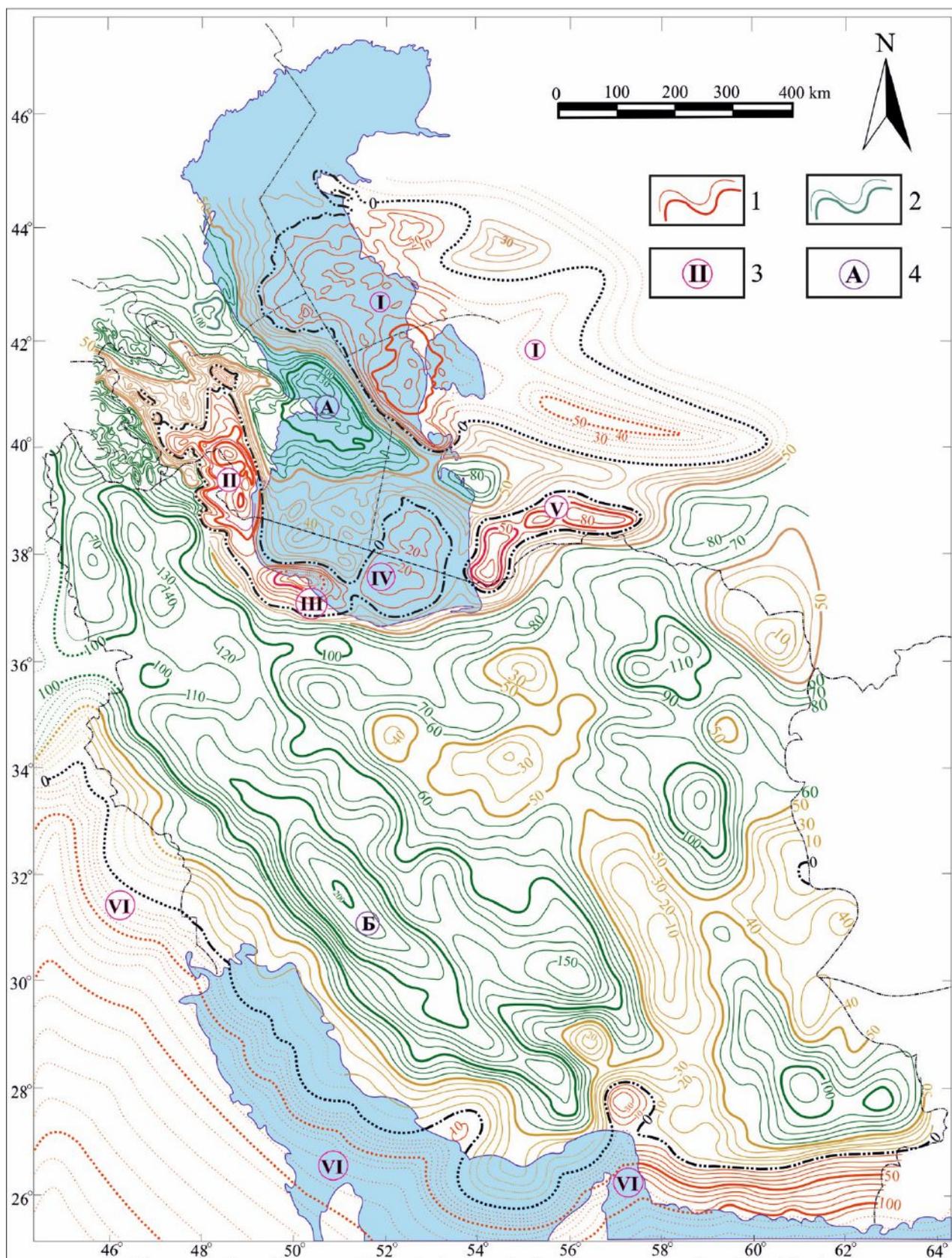


Figure 8. Gravity map of the study area in the Bouguer reduction $2\ 300\ \text{kg/m}^3$
 Legend: 1,2-positive and negative contours of the gravitational field, 3-gravity maksimims: I-Middle Caspian-Turan, II-Mugan-Garabakh, III-Safidrud, IV-Sout Caspian, V-North Copetdagh, VI-Zagross; 4-gravity minimums: A-Nort Asheron and B-Nort Zagross.
 Fid. was finalized by B.S.Aslanov, A.I.Khuduzade and R.A.Asgerova.

The sagging finally formed in the closing phase of the Alpine folding. Shift dislocation dominated in the Zagros Mountains, brought to the disharmonious crushing of the sedimentary strata. Hydrocarbons in the Mesopotamian sagging contained in the formations of the upper and lower Cretaceous, upper, middle and Upper Jurassic and Upper Perm rocks.

MFD is the largest sagging in this region; it extends to a distance of 2.5 million kilometers from north-west to south-east. Its width varies from 180 to 400 km, and the total thickness of the sedimentary cover in the most arched (axial) of up to 14-15 km. In the late Precambrian and Paleozoic time the ancient land masses that existed in Iran, form an integral unit with the Arabian continental platform. To their separation in the Permian or Triassic, i.e. during the opening of the Mesozoic Tethys, indicates Zagros ophiolite belt, confined to line of the Main Zagros Thrust.

Similar tectonic transformation can be attributed to the PKS. WFD is formed at the junction of the Arabian Plate with the Iranian Plateau and the PKS at the junction Epihercynian platform with the Alpine folding. Both saggings were superimposed on the older sedimentary basins. Due to the fact that in the geodynamic evolution of the basins of Persian Gulf and South Caspian are two tectonic stages: at first region developed as part of the continental margin of Gondwana until its collision with the Eurasian continent. As a result of this collision formed the Zagros zone of folding and then in front of it appeared WFD imposed on the north, the deep portions of the margin in former times. In parallel, a similar evolution occurred on the northern margin of seismo-geodynamic unit, as a result was formed PKS. We assume that this is the reason for the sharp contrast in the deep structures SCOP and OBPG.

Comparing the gravity maps and structural map on the Moho surface, we assume that the deepest part of the WFD is located to the north that is under the Zagros thrust. The same applies to PKS, i.e. the

deepest part is located to north-east, under the Absheron-Balkhan threshold.

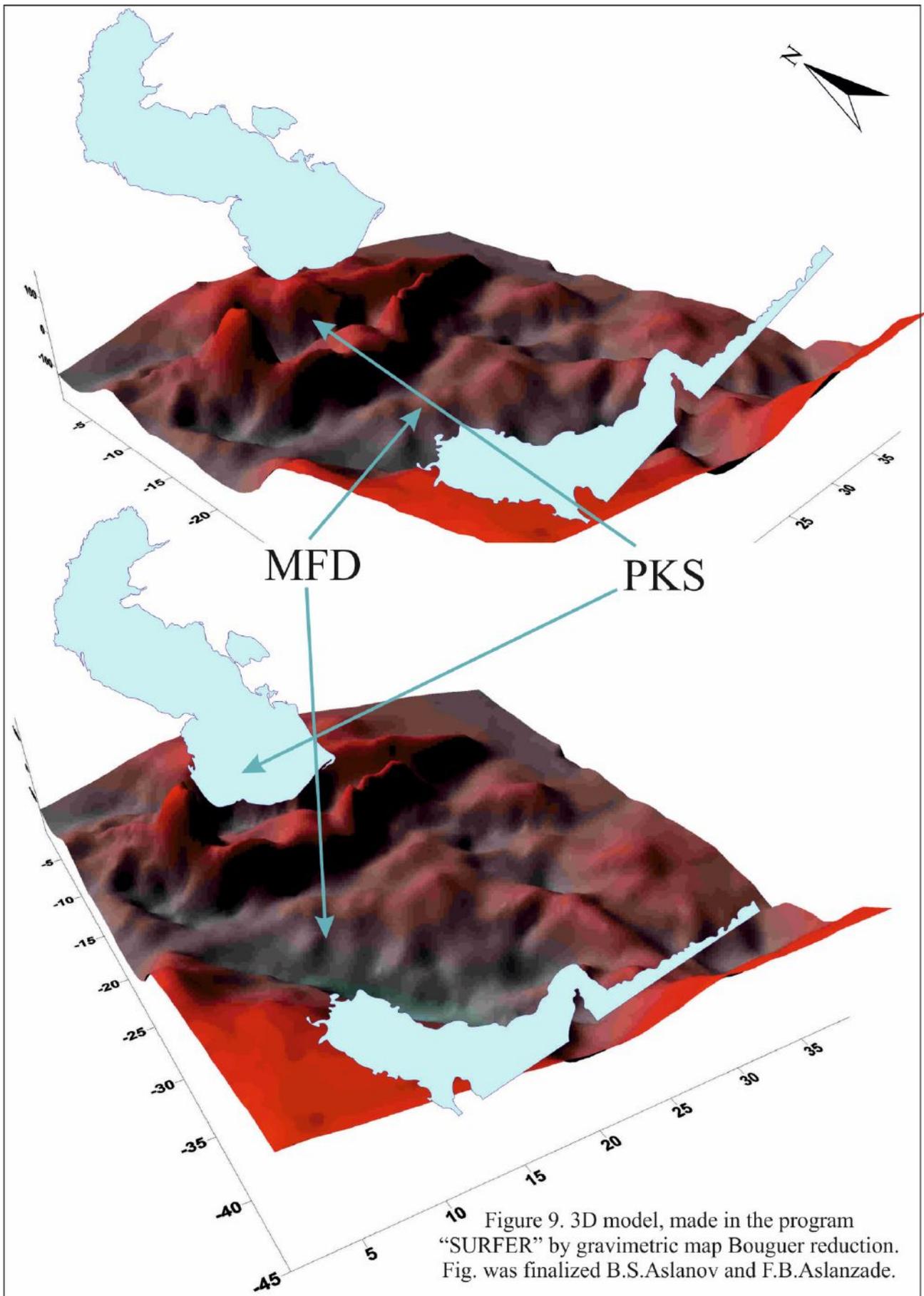
3. Results and Discussion

This idea is well illustrated in a 3D model of gravimetric map (Fig. 9), we made by the program SURFER. Here you can see how SCOP and OBPG are located. The tectonic structure of both provinces is an inversion, i.e. they are placed on the deep "hollows". However, the formation of the hydrocarbon potential is associated, in all probability, with a completely different geotectonic situation, i.e. with tectonic units.

In our opinion, the Persian Gulf hydrocarbons are formed in the cavity of MFD. To this process contributes the rotary dynamics of three tectonic units: Arabian Plate, Dashte-Lut unit and the Iranian plateau. According to our view, during the motion of the Arabian plate in the north-east, south-eastern edge touches the Dashte-Lut block, and the block, rotating counterclockwise, compresses the Iranian plateau. As a result of these compressive forces in the deep interiors of MFD created a favorable condition for the formation of hydrocarbons. In the future, because of these compressive forces, hydrocarbons migrate from existing deep faults in the Persian Gulf oil and gas structures.

In the South Caspian, the process is somewhat different. We suppose that the South Caspian hydrocarbons are formed in the cavity of PKS, due to the influence of geodynamic forces of the three tectonic units: the Iranian plateau, Dashte-Lut block and Turan plate. Geomechanical processes here are associated with the Arabian syntax, i.e. on movement of the Arabian plate in the north-east; south-eastern edge touches the Dashte-Lut block. A block through Kopetdagh mountain folding shifts the Turan plate.

Meanwhile, plate turning counterclockwise, is compressed in the direction of the South Caspian geosyncline. As the deep structure of the South Caspian is presented by arched uplift on the Moho, the center of the compressive forces falls in PKS.



As a result, in the depths of PKS is created favorable conditions for the formation of hydrocarbons. In the future, hydrocarbons migrate along existing deep faults to oil and gas structures of the South Caspian oil and gas province, including Abshern-Balkhan zone of uplifts.

4. Conclusion

Thus, analyzing briefly the structural tectonic structure, seismic geodynamic features on base of existing geological and geophysical data, earthquake catalogs, the comparative analysis of the hydrocarbon composition and processes of the evolution of geotectonic formation, we can draw the following conclusions:

1. The hydrocarbon potentials of SCOP and OBPG are associated with rift system of the Tethys Ocean and are formed in the passive continental margin (PCM). Migration pathways and hydrocarbon generation in the study area are: - in the South Caspian oil and gas province Cis-Caucasian-Turkmenian fault, and within the Persian Gulf-deep faults of Zagros thrust system.
2. Oil and gas provinces of Persian Gulf and South Caspian existed as PCM for most of the evolution, i.e. from the Late Paleozoic to Miocene, but in the north (Southern Caspian) PCM was more active than in the south (Persian Gulf).
3. After the collision of two formerly opposing margins of Tethys, MFD and PKS are transformed into modern basins, typical for joint areas of ancient Croton with relatively young mountain-folded structures.
4. Large formations of hydrocarbons in these provinces is the result of degassing, which occurred in the second stage of basin evolution at superposition of foredeeps (MFD and PKS) to the former Gondwana margin.
5. From the position of the theory of global tectonics, the accumulation of oil occurs as a result of sublimation and thermolysis of substances tightened together with the oceanic sediments in the area of the subduction of lithospheric plates.
6. A sharp contrast of the geological and tectonic structure of provinces is associated with seismogeodynamic conditions.

REFERENCES

1. Aslanov B.S., 2012. Persian Gulf oil and gas provinces and megabasin South Caspian – relics of the passive continental margin of the Tethys paleo / International scientific-technical and industrial electronic journal "Earth Sciences", Moscow, № 4-2012, p.4-11.
2. Zabanbark A., Kazmin V.G., Lobkovsky L.I., 2010. The ancient continental margins and a comparative analysis of their oil and gas. Reports of the Academy of Sciences, 2010, Volume 431, № 3, p.365-368.
3. Zabanbark A., 2011. Distribution of the major oil and gas fields - the source of hydrocarbon degassing (swimming pool Gulf). Moscow, Proceedings of the Institute of Oceanology. RAS, p.133-138.
4. Zapivalov N.P., 2008. Sea oil - a new milestone of mankind // Oil Industry. № 6, p.54-58.
5. Ghasemi A., Talbot C.J., 2005. New tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran). Journal of Asian Earth Sciences. № 7, p.1-11.
6. Ebadati N., A. Adib., 2010. Geodynamics Evolution of the Oil Traps in Southern Regions of Zagros Due to Closing of Neotethy The st International Applied Geological Congress, Department of Geology, Islamic Azad University - Mashad Branch, Iran, 26-28 April.
7. Quarrie N., 2004. Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt. Iran, Journal „Structural Geology“, № 9, p.519-535.
8. Bahrami M., Sahraeyan M., Taherkhani K., 2012. Microfacies and Sedimentary Environments of Dalan Formation at Surmeh Mountain, Folded Zagros Zone, Southwestern Iran International Journal of Basic and Applied Sciences, № 1 (4), p.380-389.
9. Shafaii Moghadam H., Robert Stern J., Rahgoshay M., 2010. The Dehshir ophiolite (central Iran): Geochemical constraints on the origin and evolution of the Inner Zagros ophiolite belt. Geological Society of America Bulletin, № 11, p.1516-1547.



ИССЛЕДОВАНИЕ ЮЖНОГО КАСПИЯ И ЗАГРОССКОГО НАДВИГА НА ОСНОВЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

<i>Асланов Б.С.</i>	<i>Худузаве А.И.</i>	<i>Асланзаде Ф.Б.</i>	<i>Асгерова Р.А.</i>
Научно-исследовательский проектный институт нефти и газа, Азербайджан	Производственное объединение «Азнефть», Азербайджан	Азербайджанский государственный университет нефтяной промышленности, Азербайджан	Институт нефти и газа, Азербайджан
beyler@inbox.ru	a.xuduzade@gmail.com	fidan_aslanzade@mail.ru	askerova-roksana@rambler.ru

Аннотация: Исследователям и учёным в области геодинамики и геотектоники известно, что Северо-восточная окраина Африкано-Аравийского континента в кайнозойское время испытала столкновение с Иранской плитой. В результате образовались нефтегазоносные структуры Загросской и Абишероно-прибалханской покровно-складчатых зон, которых являются возможными реликтами океана Палеотетис. Иными словами, основательное образование этих складок земной коры – результат надвигания на край платформы океанических окраинных систем юго-западной периферии Палеотетиса.

Ключевые слова: Абишероно-Прибалханская зона поднятий, Месопотамский и Пираллахи-Келькорский прогибы, фундамент.

© Authors, 2020

ВЕРТИКАЛЬНАЯ РЕФРАКЦИЯ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ И МЕТОД ЕЁ ТОЧНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Дементьев Д.В.

Группа Компаний «Геодезия и Строительство», Россия

E-mail: ddv@gis2000.ru

Аннотация. Для обеспечения высокой точности геодезических наблюдений в приземном слое атмосферы необходим учёт влияния рефракции. Экспериментально неоднократно подтверждено, что рефракция, полученная в одно и то же время для различных направлений, может быть неодинакова. Разработано несколько десятков методов определения рефракции. Наиболее востребован метод учёта рефракции в периоды спокойных изобращений. В остальное время суток ошибки за вертикальную рефракцию могут превосходить инструментальные ошибки на порядок и более. Как считают многие исследователи, потенциал классических методов определения рефракции практически исчерпан. Например, Мозжухин О.А. утверждает [49]: «несмотря на многолетние усилия проблема учёта рефракции в геодезических измерениях не получила даже удовлетворительного практического решения» являются вполне обоснованными, так как подтверждены результатами много-численных исследований, выполненных различными авторами. В данной работе приведены результаты исследований альтернативного турбулентного метода определения рефракции по флуктуациям угла прихода, который позволяет определять рефракцию с высокой точностью не только в период изотермии, но при не-устойчивой температурной стратификации атмосферы. Данный метод не требует дополнительной аппаратуры, кроме электронного тахеометра с автоматическим наведением на визирную цель. Точность определения рефракции этим методом составляет $\sim 2''$, т.е. соответствует инструментальной точности используемого прибора.

Ключевые слова: вертикальная рефракция, угол прихода, структурная характеристика показателя преломления, неустойчивая температурная стратификация.

Инструментальная точность современных высокоточных геодезических приборов характеризуется величинами порядка $0,5'' \dots 1''$ при измерении углов и относительной ошибкой $10^{-6} \dots 10^{-7}$ при измерении расстояний. Поэтому для обеспечения высокой точности измерений в полевых условиях необходим учет влияния рефракции, так как прямолинейное распространение света возможно только в идеальной среде. Вертикальная рефракция, как правило, значительно больше (примерно в 3–40 раз) [17], чем боковая. Поэтому погрешности измерений, возникающие из-за влияния вертикальной рефракции, также значительно больше. Для характеристики рефракции часто используют такое понятие, как точечный коэффициент рефракции k , характеризующий отношение радиуса Земли R_3 к радиусу ρ кривизны рефракционной кривой в конкретной точке

$$k = R_3 / \rho \quad (1)$$

Угол вертикальной рефракции γ и величина k связаны зависимостью

$$\gamma = kL/2R_3, \quad (2)$$

где L – расстояние между источником и приемником, считая по дуге земной сферы.

Практически во всех руководствах к современным геодезическим приборам, используемым для измерения вертикальных углов, предлагается вводить в результаты измерений поправку за рефракцию с учетом так называемого «стандартного коэффициента» рефракции $k = 0,13 \dots 0,20$. Предполагается, что в приземном слое атмосферы рефракция постоянна и требуется только надежнее определить коэффициент рефракции для конкретного региона, страны, либо группы стран. Например, для Германии был принят $k = 0,13$, который был определен еще Гауссом, а для СССР - $k = 0,14$. С достаточно

хорошим приближением такие коэффициенты рефракции можно использовать, когда высота визирного луча составляет сотни и более метров, т.е. когда вертикальный градиент температуры близок к сухоадиабатическому градиенту температуры $\gamma_a = -0,0098$ град/м на всей трассе.

При небольших высотах визирного луча над подстилающей поверхностью порядка 50 м и менее использование $k = 0,13 \dots 0,16$ не всегда оправдано [11]. Практически такой же вывод сделан в работе [16]: «применение единого для любых условий полевых работ коэффициента вертикальной рефракции, как это обычно практикуется при вычислении превышений, может приводить к значительному увеличению количества разностей прямых и обратных превышений, превосходящих допустимое значение». Экспериментально неоднократно подтверждено, что коэффициент рефракции, полученный в одно и то же время для различных направлений, может быть неодинаков [11]. Сообщается, что в реальных условиях наблюдаются коэффициенты рефракции от +4,28 до -4,40. Ещё большие колебания значений коэффициентов рефракции были получены при исследованиях вертикальной рефракции в 1980 – 1992 г. на горизонтальных трассах протяженностью 2 км в Туркмении при эквивалентной высоте визирного луча от 1,0 м до 2,0 м [5]. В этих условиях иногда наблюдались максимальные по модулю значения коэффициентов рефракции в ранние утренние часы (до восхода Солнца) +5,25 и днём - 4,72. Ещё больший размах колебаний коэффициента рефракции был зафиксирован Hübner E. в 1977 г в солнечные дни : $k = -8 \dots +16$ при высоте визирного луча порядка 50 см, что соответствует отклонению луча в вертикальной плоскости от -129,6" до +259,2" [24]. Аналогичные результаты получил Angus-Leppan P. V. [21].

Поэтому для большинства геодезических работ, выполняемых при высоте визирного луча в единицы метров, постоянный коэффициент рефракции ($k = 0,13$) использовать нельзя, так как это зачастую

приводит к ухудшению результатов измерений [11]. Таким образом, о едином коэффициенте рефракции, особенно при малых высотах визирного луча, не только для государства, но и для отдельного участка работ не может быть и речи, так как k не является постоянной величиной и может изменяться в широких пределах достаточно быстро. Наглядным подтверждением этому является график временного хода рефракции на трассе протяженностью 759,67 м, полученный при исследованиях рефракции 6 июня 2019 с 15 час. 37 мин 02 сек. до 16 час 14 мин 30 сек на геодезическом полигоне Группы Компаний ГиС (г. Москва). Горизонтальная трасса проходила вдоль берега Сходненского канала. Подстилающая поверхность – луг, поросший травой с пешеходной тропинкой (рис.1) параллельно каналу. Температура воздуха $T = 27^\circ\text{C}$, давление $P = 767$ мм рт. ст., ветер южный, скорость 1,7 м/с, солнечно и малооблачно. Для измерений зенитных расстояний использовался роботизированный электронный тахеометр Trimble SX10 [14]. Инструментальная точность прибора 1". Скважность измерений составляла от 1с до нескольких секунд.



Рис.1. Роботизированный электронный тахеометр Trimble SX10, установленный на трассе, проходящей параллельно Сходненскому каналу (слева) - г. Москва полигон Группы Компаний ГиС [14].

При исследованиях точности определения рефракции обычно вычисляют «истинное» зенитное расстояние z_0 между точками (станцией и точкой на

которой установлен отражатель). Истинное зенитное расстояние z_0 оценивают с учётом превышения h между конечными точками трассы протяжённостью L , измеренное путём геометрического нивелирования II кл, и измеренных высот инструмента i и визирной цели (отражателя) l , а также учитывается поправка за кривизну Земли $f = L^2/R_3$. Здесь R_3 - средний радиус Земли, который обычно принимается равным 6371 км.

Истинное зенитное расстояние z_0 определялось из выражения

$$z_0 = \text{arc ctg} (h/d - i + l + L^2/R_3). \quad (3)$$

Сравнивая истинное зенитное расстояние z_0 , с измеренными $z_{и}$ получали истинные значения угла рефракции r на данной трассе для каждого момента измерений

$$r = z_0 - z_{и..} \quad (4)$$

Полученные значения угла рефракции r можно считать эталонными, так как их определяют на основании высокоточного геометрического нивелирования. При этом на точность определения истинного зенитного расстояния z_0 , влияют:

- инструментальная точность измерения вертикального направления роботизированным тахеометром, которая составляет 0,7". (Согласно паспортным данным точность автоматического наведения на визирную цель составляет 1 мм на расстоянии 300 м, т.е. ~0,7" [14]);
- точность геометрического нивелирования II кл. (средняя квадратическая ошибка 2 мм на 1 км);
- точность измерения высот инструмента и отражателя, которая может быть охарактеризована средней квадратической ошибкой порядка 2 мм.
- точность определения МО ~1"

Следовательно, суммарную среднюю квадратическую ошибку определения z_0 можно принять равной ~2", а ошибку истинного (эталонного) значения рефракции r можно принять равной ~2,2".

На основании полученных значений угла рефракции построен график временного хода угла рефракции, который представлен на рис. 2. Как видно из рис. 2, рефракция в течение 2 сек может измениться на 35", что очень сложно определить с высокой точностью (1...2") традиционными оптическими приборами без автоматического наведения на визирную цель. Данное обстоятельство очередной раз позволяет сделать вывод о том, что использование даже высокоточных приборов с визуальным наведением в период неустойчивой температурной стратификации атмосферы не обеспечивает получение высокоточных результатов наблюдений из-за быстрого хаотического изменения рефракции.

Результаты экспериментальных исследований на наземных трассах с высотами визирного луча до нескольких десятков метров подтверждают, что характер суточного хода рефракции в деталях практически неповторим, но в некоторой степени характерен для различных времен года и для трасс различной длины. Например, хорошо известно, что в пасмурную погоду рефракция меньше, чем в ясную. Дневная амплитуда рефракции осенью и весной меньше чем летом. Днём в приземном слое атмосферы, как правило, рефракция отрицательная. Следовательно, введение поправок за рефракцию на основе использования ранее выполненных измерений (даже на этой же трассе), но в другое время некорректно, так как может привести к ухудшению полученных результатов. Поэтому определение поправок за рефракцию для наземных трасс на основе результатов длительных наблюдений рефракции в данном регионе и даже на конкретных трассах лишено каких-либо оснований.

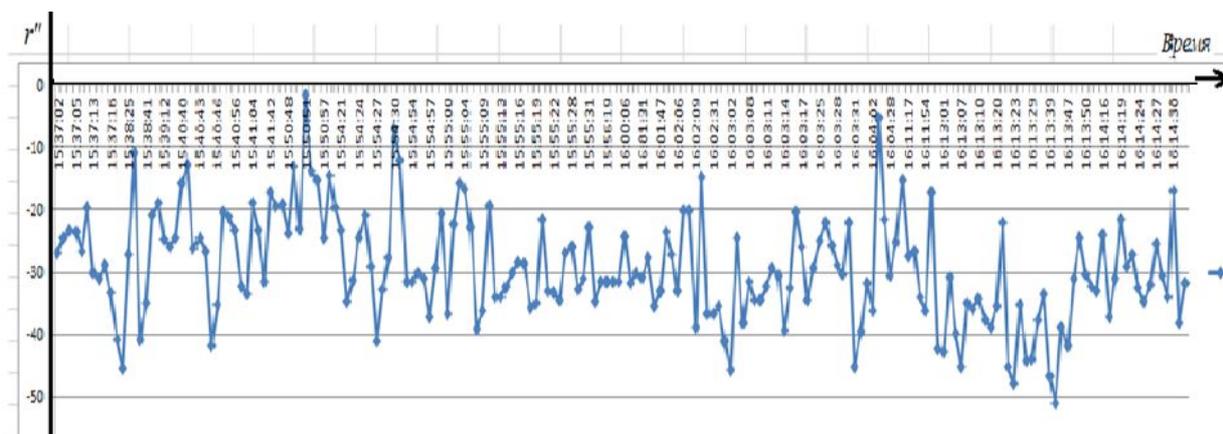


Рис.2. Временной ход угла вертикальной рефракции γ'' определённой с учётом результатов геометрического нивелирования II кл. и с помощью роботизированного тахеометра Trimble SX10 на полигоне Группы Компаний ГиС в Москве трасса протяжённостью 759,67м. Наблюдения выполнялись 6 июня 2019 г. с 15 час. 37 мин 02 сек. до 16 час 14 мин 30 сек.

Как отмечается в работе [3] из всех современных методов учёта и определения рефракции, наиболее эффективным является метод, основанный на выборе времени наблюдений в периоды нейтральной температурной стратификации атмосферы, когда колебания изображения визирной цели отсутствуют, а величина рефракции минимальна. Существенными недостатками этого метода являются весьма короткий рабочий период безразличной температурной стратификации атмосферы (как правило, менее 1 часа) и сложность определения временных границ этого периода, которые непостоянны, а точность их определения весьма субъективна. Этому вопросу были посвящены работы [6, 19- 21]. Данный метод практически не требует выполнения дополнительных измерений и основывается на том факте, что при температурном градиенте, близком к сухо адиабатическому $\gamma_a = - 0,0098$ град/м, рефракция мала и практически постоянна. Поэтому данный метод является наиболее востребованным в геодезической практике. Вместе с тем, необходимо обращать внимание на то, что период изотермии наступает в различных точках трассы в различное время. Предполагается, что наличие спокойных изображений при ветре не менее 0,5 м/с соответствует

безразличной температурной стратификации атмосферы, когда коэффициент рефракции одинаков по всем направлениям и на уровне моря его среднее значение составляет $\sim 0,16$.

На рис. 3 представлен временной ход угла рефракции на трассе протяжённостью 740 м, который был получен 1.10.18 г в период безразличной температурной стратификации атмосферы, когда изображения визирных целей было чётким и не колебалось.

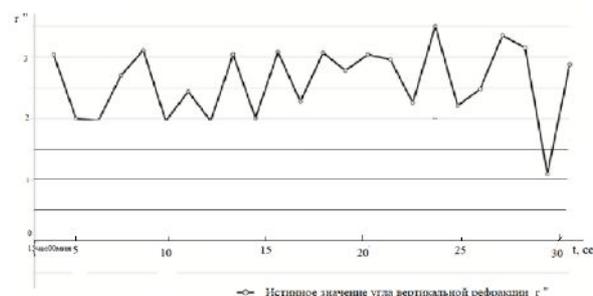


Рис.3. Временной ход рефракции за период с 15 час. 04 мин до 15 час. 30 мин. 1.10.2018 г. на ровной горизонтальной трассе (строительной площадке) протяжённостью 741,220 м. Температура воздуха $-1^{\circ}C$, скорость ветра $-0,5$ м/с, давление 1025,8 мбар. Для наблюдений использовался роботизированный электронный тахеометр Trimble SX9[14].

Как видно из графика, изменения рефракции за весь период наблюдений были незначительные и находились в диапазоне +1"...+3". Малые изменения угла рефракции вызваны ошибками измерений и незначительными флуктуациями показателя преломления, так как реальная атмосфера всегда находится в движении.

Сравнивая графики временного хода рефракции для трасс практически одинаковой протяжённости (рис.2 и рис. 3) можно заключить, что при неустойчивой температурной стратификации амплитуда флуктуаций угла рефракции значительно больше, чем при безразличной температурной стратификации, а спектр колебаний сдвигается в более высокочастотную область. При безразличной температурной стратификации спектр становится сглаженным и стремится к спектру белого шума. Таким образом, данный эксперимент подтверждает, что время наблюдений соответствующее безразличной температурной стратификации, выбрано оптимально, так углы рефракции очень малы. Как известно, для уменьшения влияния рефракции рекомендуют выбирать время наблюдений в периоды спокойных изображений визирных целей, наблюдения выполнять короткими лучами и, желательно, чтобы высота визирного луча была как можно выше относительно подстилающей поверхности. Учитывая вышесказанное, и то, что границы периода спокойных изображений для наблюдений крайне неопределённые, всё это значительно усложняет качественное выполнение наблюдений.

В работе [16] отмечается, что «учёт атмосферных влияний на результаты геодезических измерений является сложнейшей физической проблемой, решение которой крайне затруднено значительными и быстрыми изменениями во времени и пространстве поля показателя преломления в приземном слое воздуха...».

Это же отмечается и в одном из последних значительных исследований в

области рефракции [1]: «В неоднородной атмосфере показатель преломления непрерывно меняется во времени и пространстве. Это явление в той или иной степени снижает точность всех угловых и линейных измерений». Ещё в 1975 г. Изотов А.А. после выполнения широко известных работ по классическому определению рефракции, так же пришёл к мысли, что «полное освобождение геодезических наблюдений от влияния турбулентных и флуктуационных процессов в атмосфере возможно только путём непосредственного измерения угла рефракции в момент наблюдений» [9].

Несколько раньше были предложены методы определения рефракции на основе анализа искажений, возникающих в световой волне, прошедшей турбулентную трассу. Эти методы, как раз и позволяют реализовать возможность «непосредственного измерения угла рефракции в момент наблюдений» [9]. Зависимость между рефракцией и искажениями световой волны обусловлена тем, что пульсации показателя преломления воздуха и вертикальный градиент функционально зависят от метеоэлементов: давления, температуры и влажности, а, следовательно, функциональная зависимость между пульсациями показателя преломления, вызываемыми флуктуацией волны, и рефракцией является обоснованной. Как известно [7,8,10,15], атмосфера земли характеризуется быстрой изменчивостью полей метеоэлементов и, как следствие этого, поля показателя преломления. По этой причине рефракция меняется во времени и пространстве с такой же скоростью, так как функционально зависит от градиента показателя преломления dn/dh . Поэтому измерение рефракции возможно только в реальном масштабе времени, т.е. в момент выполнения наблюдений. В работе [5] для вычисления величины угла рефракции r_d , которая учитывает влияние турбулентной атмосферы в текущий момент времени, приведена рабочая формула

$$r_d = 8,13 L (0,000244 \frac{P}{T^2} \pm \frac{B(\lambda)\bar{C}_n}{h^{2/3} a(Ri)}). \quad (5)$$

где L- длина трассы, где T и P - усреднённые значения температуры и давления, измеренные на трассе в момент наблюдений; $B(\lambda)$, мбар / град – величина, характеризующая зависимость показателя преломления воздуха от длины волны λ [5], температуры и давления; \bar{C}_n , см^{-2/3} - усреднённая структурная характеристика показателя преломления воздуха; h- эквивалентная высота луча, $a(Ri)$ — универсальная безразмерная функция, которая может быть выбрана в зависимости от температурной стратификации атмосферы [2].

Формула (3.11) предназначена для вычисления рефракции в реальном масштабе времени и учитывает влияние турбулентности на оптические свойства атмосферы. Здесь величина \bar{C}_n – основной параметр, характеризующий оптические свойства турбулентной атмосферы и от которого в первую очередь зависит текущее значение рефракции.

Многообразие возможных методов определения ; \bar{C}_n рефракции на основе измерения статистических характеристик электромагнитной волны отражено на рис.4 [4,5].

Задача по определению структурной характеристики поля показателя преломления воздуха может быть решена при выполнении геодезических измерений без использования каких либо дополнительных средств измерений, кроме электронного тахеометра с автоматическим наведением на визирную цель. В этом случае, измеряя флуктуации угла прихода в автоматическом режиме, можно вычислить значение C_n^2 [2] а, затем и рефракцию. При неустойчивой и устойчивой температурной стратификации величина рефракции r может изменяться случайным образом и в значительном диапазоне. В эти периоды преобладающее влияние на величину r оказывает аномальная составляющая угла рефракции $r_{ан}$.

Исследования рефракции проводились на трассах различной протяжённости на полигоне Группы Компаний ГИС в г. Москве и на производственном объекте (строительной площадке) в Европейской части РФ в различные сезоны года. В качестве приборов использовались роботизированные электронные тахеометры фирмы Trimble Navigation различных модификаций: Trimble SX8; Trimble SX9 и Trimble SX10.

Согласно [5] для определения угла вертикальной рефракции r в реальном масштабе времени на основании измерения искажений световой волны, прошедшей измеряемую трассу может быть использована формула (5). Целью экспериментальных исследований является оценка возможности использования турбулентного метода определения вертикальной рефракции во время работы, выполняемой с помощью роботизированного электронного тахеометра с автоматическим наведением на визирную цель. Наблюдения выполнялись в периоды безразлично температурной стратификации, когда влияние вертикальной рефракции минимально и в периоды неустойчивой температурной стратификации, которые по продолжительности охватывают наибольшее время суток.

В качестве примера в табл.1 приведены результаты исследований рефракции на трассе протяжённостью 741,422 м. на производственном объекте на расположенном в Европейской части РФ. Исследования выполнялись 1.10.18 с 15 час 04 мин 15 сек. до 15 час 30 мин 24 сек с помощью роботизированного электронного тахеометра Trimble SX9 в период безразлично температурной стратификации атмосферы. Трасса имела ровную горизонтальную подстилающую поверхность (на строительной площадке), температура воздуха составляла -1⁰ С, скорость ветра -0,5м/с, давление 1025,8 мбар. Истинное зенитное расстояние $z_0 = 89^{\circ} 55' 50,08''$.

Отметки точек трасс были получены из геометрического нивелирования II кл. Истинные углы вертикальной рефракции γ для каждой трассы определялись по величине разности между истинным зенитным расстоянием z_0 и измеренным с помощью роботизиро-

ванного тахеометра зенитным расстоянием z_i . В свою очередь, «истинные» значения зенитного угла z_0 , вычислялись на основе данных геометрического нивелирования II кл. точек полигона, на которые устанавливались электронный тахеометр и отражатель.

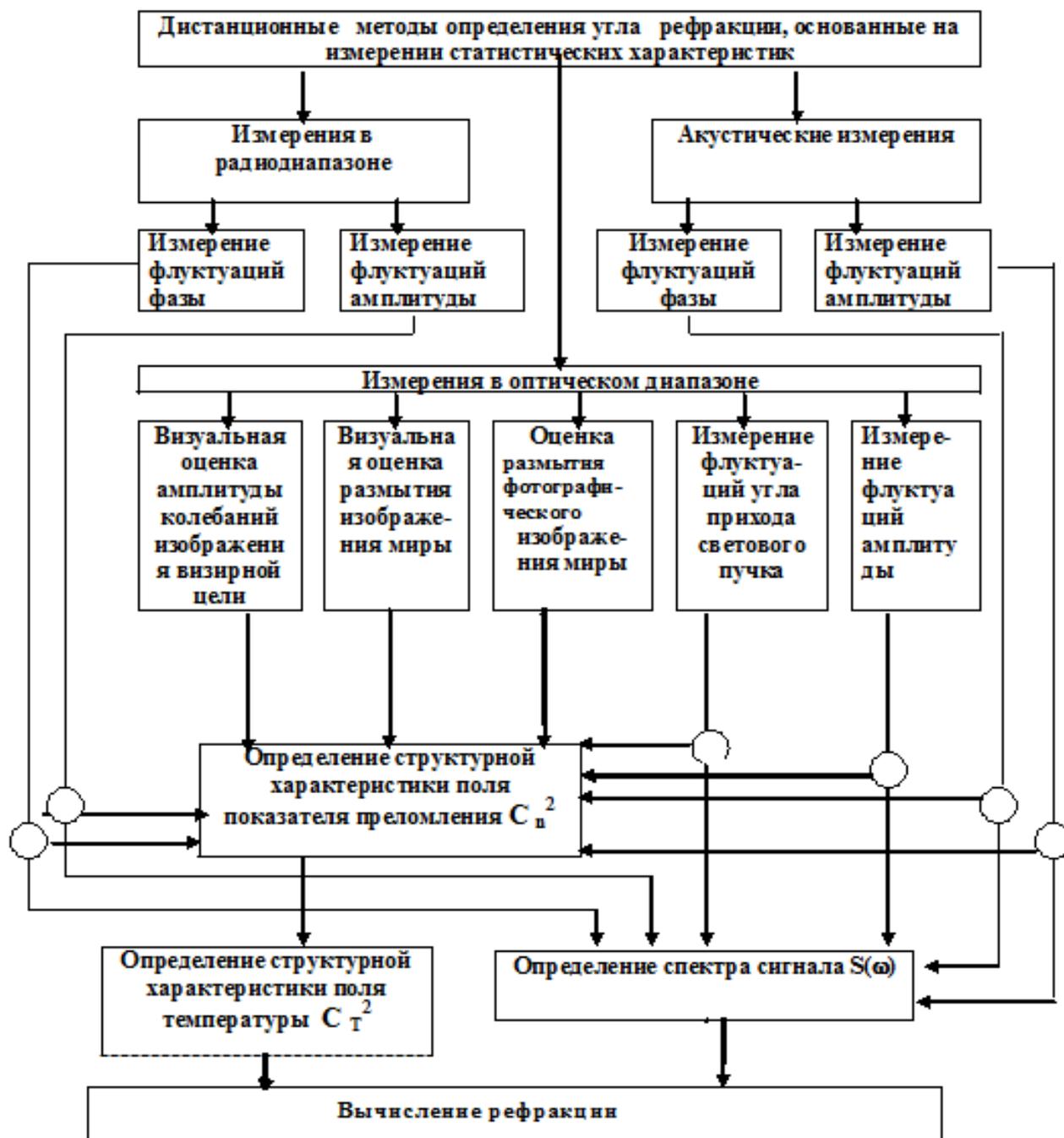


Рис.4. Методы определения структурной характеристики поля показателя преломления воздуха [5]

Таблица 1.

Результаты измерений вертикального угла рефракции на трассе протяжённостью 741,422 м, выполненных 1.10.18 с 15 час 04 мин 15 сек. до 15 час 30 мин 24 сек с помощью роботизированного электронного тахеометра Trimble SX9. Истинное зенитное расстояние $z_0 = 89^{\circ} 55' 50,08''$

№ п/п	Время	Измеренные зенитные расстояния z_u	Истинные значения угла вертикальной рефракции $r = z_0 - z_u$	Значения угла вертикальной рефракции r_a , полученные турбулентным методом	$\Delta r = r - r_a$
1	15ч 04м 15с	89° 55' 47,04"	+3,04	+1,57"	1,47
2	05 04	89° 55' 48,08"	+2,00	+0,65	1,35
3	05 57	89° 55' 48,11"	+1,97	+ 0,62	1,35
4	06 43	89° 55' 47,38"	+2,70	+1,28	1,42
5	09 06	89° 55' 46,97"	+3,11	+1,65	1,36
6	09 51	89° 55' 48,12"	+1,96	+0,61	1,35
7	11 33	89° 55' 47,64"	+2,44	+1,04	1,40
8	12 37	89° 55' 48,12"	+1,96	+0,61	1,35
9	13 33	89° 55' 47,04"	+3,04	+1,58	1,46
10	14 24	89° 55' 48,07"	+2,01	+0,65	1,36
11	15 53	89° 55' 47,00"	+3,08	+1,62	1,36
12	16 43	89° 55' 47,80"	+2,28	+0,61	1,67
13	18 49	89° 55' 47,01"	+3,07	+1,61	1,46
14	19 34	89° 55' 47,30"	+2,78	+1,35	1,43
15	21 43	89° 55' 47,04"	+3,04	+1,68	1,36
16	24 37	89° 55' 47,12"	+2,96	+1,51	1,45
17	25 21	89° 55' 47,82"	+2,26	+0,88	1,38
18	25 56	89° 55' 46,58"	+3,50	+2,00	1,50
19	26 48	89° 55' 47,87"	+2,21	+0,84	1,41
20	27 23	89° 55' 47,60"	+2,48	+1,08	1,40
21	28 15	89° 55' 46,73"	+3,35	+1,87	1,48
22	28 50	89° 55' 46,93"	+3,15	+1,69	1,36
23	29 47	89° 55' 48,98"	+1,10	- 0,16	1,26
24	30 24	89° 55' 47,20"	+2,88	+1,60	1,28

Так как в данном случае условия наблюдений были благоприятными, т.е. близкими к нейтральной температурной стратификации атмосферы, то для оценки величины угла рефракции классическим методом при нейтральной температурной стратификации можно использовать формулу [16]

$$r = r_n = 0,198 \frac{P}{T^2} L, \quad (6)$$

где P – давление, T – температура, L – длина трасы.

Используя данные наблюдений P и T на трассе $L = 741,42$ м, получим вычисленное значение рефракции $r_n = 1,9''$ для безразличной температурной стратификации в момент наблюдений, относительно которого можно ориентироваться при определении истинной рефракции r классическим методом в момент наблюдений по данным измерений геометрического нивелирования II кл. и тригонометрического нивелирования. Как видно из табл.1, одновременно при исследованиях получали значения рефракции r_a для каждого момента наблюдений турбулентным методом. Так как температурная стратификация в момент наблюдений несколько отличалась от нейтральной из-за флуктуаций показателя преломления реальной атмосферы, то полученные значения угла рефракции на основании сравнения измеренных зенитных расстояний с истинным зенитным расстоянием, несколько отличаются от предвычисленного для условий нейтральной температурной стратификации. В момент наблюдений угол вертикальной рефракции имел положительное значение.

Из сравнения углов рефракции, полученных этими двумя различными методами, можно заключить, что отклонение значений рефракции от истинного характеризуются средней квадратической ошибкой порядка $1,5''$ (см. табл.1).

Так как истинные значения угла рефракции, определены с точностью порядка $2,2''$, о чём было сказано выше, то

можно полагать, что точность турбулентного метода определения рефракции в условиях безразличной температурной стратификации атмосферы примерно соответствует инструментальной точности используемого роботизированного тахеометра. Этот тахеометр обеспечивает инструментальную точность измерения вертикальных направлений порядка $1''$ с частотой $2,5$ Гц, а также практически исключает субъективные ошибки наведения на визирную цель при измерении вертикальных углов, так как поиск цели и наведение на неё выполняются автоматически без участия оператора.

Кроме того, были выполнены исследования по определению рефракции турбулентным методом и в условиях неустойчивой температурной стратификации жаркий летний день - 6 июня 2019 г. на полигоне ГиС (Москва), когда изображения визирных целей были размыты и сильно дрожали, т.е. в такое время, когда выполнять точные геодезические измерения не рекомендуется. На двух трассах протяжённостью $L = 464,55$ м и $759,67$ м, расположенных практически в одном створе, были выполнены с помощью электронного тахеометра Trimble SX10 (см. рис.1). При этом наблюдалась температура воздуха $T=28^{\circ}\text{C}$, давление $P = 767$ мм рт. ст., ветер южный, скорость $1,7$ м/с, солнечно и малооблачно. Наблюдения на трассах проводились последовательно: сначала на более короткой трассе $L = 464,55$ м, отсчёты выполнялись каждую секунду. Полученная выборка содержит 193 отсчёта, величина которых изменялась случайным образом в пределах от $89^{\circ} 59' 30,0''$ до $90^{\circ} 00' 10,1''$, т.е. в диапазоне порядка $40,1''$. Такой значительный разброс отсчётов по продолжительности соответствует достаточно короткому периоду в течение которого можно, в лучшем случае, выполнить измерения на визирную цель одним полуприёмом, если для наблюдений использовать стандартный электронный тахеометр с визуальным наведением на визирную

цель. Как показывают результаты экспериментальных исследований, за столь короткий период угол вертикальной рефракции изменяется весьма сильно. Это даёт основание полагать, что любые методы определения рефракции, основанные на использовании каких-либо эталонных значений коэффициентов рефракции, эталонных рефракционных базисов и т.п. классических методов и приёмов весьма сложно использовать.

На более длинной трассе 759,67 м, наблюдения выполнялись более длительное время и часто прерывались из-за появления пешеходов в створе трассы. В качестве примера в табл.2 представлен небольшой фрагмент выборки (30 отсчётов), которые были получены за период порядка 12 минут. При этом часть отсчётов получена со скважностью 1 сек, а часть с большими перерывами между отсчётами, так как в эти моменты видимость на трассе перекрывалась случайными прохожими. Угол рефракции в течение ~ 10 минут изменялся в диапазоне -42,6 до +1,7".

Как показывают результаты, полученные 6.06.19 на обеих трассах ($L_1 = 464,55$ м и $L_2 = 759,67$ м), в условиях неустойчивой температурной стратификации атмосферы, также подтверждают возможность использования турбулентного метода определения рефракции с точностью, соответствующей точности используемого прибора – в данном случае со средней квадратической ошибкой порядка 1,6".

Особенно наглядно иллюстрируются значительные случайные вариации величины угла вертикальной рефракции графиком, представленном на рис.1. На основании обработки результатов измерений 190 отсчётов зенитного расстояния, отклонение углов рефракции, которое определялось турбулентным методом от истинных значений ~ в 190 точках составляло 1,4" ...1,8", что соответствует точности используемого прибора Trimble SX10.

Как видно из рис. 1, рефракция в период неустойчивой температурной стратификации сильно флуктуирует и в течение 2 сек может измениться на 35", что очень сложно определить с высокой точностью (1...2") традиционными оптическими приборами без автоматического наведения на визирную цель. Данное обстоятельство очередной раз позволяет сделать вывод о том, что использование даже высокоточных приборов с визуальным наведением в период неустойчивой температурной стратификации атмосферы весьма затруднено при получении высокоточных результатов наблюдений из-за быстрого хаотического изменения рефракции.

На основе выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Метод определения рефракции по флуктуациям угла прихода может быть реализован с помощью электронных тахеометров, которые автоматически осуществляют наведение на визирную цель. Приборы, не имеющие автоматического наведения на визирную цель позволяют осуществлять измерения с минимальными ошибками при учёте рефракции только в условиях безразличной температурной стратификации, т.е. в течение непродолжительного времени суток. В остальное время суток с помощью таких приборов оценивать величину рефракции с высокой точностью весьма сложно.
2. Результаты полевых исследований соответствуют выводам многих исследователей о том, что угол рефракции быстро и значительно меняется случайным образом. Полученные данные свидетельствуют, что в течение нескольких секунд угол вертикальной рефракции может измениться на десятки угловых секунд (см. рис.2).

Таблица 2.

Результаты измерений вертикального угла рефракции 6.06.19 с помощью роботизированного электронного тахеометра Trimble SX10 на трассе протяжённостью 759,67 м с 15 час 38 мин 42 сек до 15 час 50 мин 57 сек, $z_0 = 89^{\circ} 59' 45,2''$ - истинное зенитное расстояние

№ п/п	Время	Измеренные зенитные расстояния z_u	Истинный угол рефракции $r = z_0 - z_u$	Угол рефракции r_{∂} , определённый турбулентным методом	$\Delta r = r - r_{\partial}$
1	ЧТ 06.06.19 15:38:42	90°00'03.19"	-18.00	-19.60	1.60
2	ЧТ 06.06.19 15:38:43	90°00'01.15"	-15.90	-17.60	1.70
3	ЧТ 06.06.19 15:39:12	90°00'06.23"	-21.00	-22.60	1.60
4	ЧТ 06.06.19 15:40:38	90°00'08.10"	-22.90	-24.50	1.60
5	ЧТ 06.06.19 15:40:39	90°00'06.62"	-21.40	-23.00	1.60
6	ЧТ 06.06.19 15:40:40	89°59'58.11"	-12.90	-14.70	1.80
7	ЧТ 06.06.19 15:40:41	89°59'55.65"	-10.40	-12.00	1.60
8	ЧТ 06.06.19 15:40:42	90°00'08.30"	-23.10	-24.70	1.60
9	ЧТ 06.06.19 15:40:43	90°00'06.61"	-21.40	-23.00	1.60
10	ЧТ 06.06.19 15:40:44	90°00'08.66"	-23.40	-25.00	1.60
11	ЧТ 06.06.19 15:40:45	90°00'22.84"	-37.60	-39.30	1.70
12	ЧТ 06.06.19 15:40:46	90°00'15.86"	-30.70	-32.20	1.50
13	ЧТ 06.06.19 15:40:47	90°00'02.76"	-17.60	-19.10	1.50
14	ЧТ 06.06.19 15:40:55	90°00'03.44"	-18.40	-19.80	1.40
15	ЧТ 06.06.19 15:40:56	90°00'05.36"	-18.90	-21.70	1.80
16	ЧТ 06.06.19 15:40:57	90°00'14.07"	-28.90	-30.50	1.60
17	ЧТ 06.06.19 15:41:02	90°00'15.20"	-30.00	-31.60	1.60
18	ЧТ 06.06.19 15:41:04	90°00'01.28"	-16.00	-17.70	1.70
19	ЧТ 06.06.19 15:41:05	90°00'05.35"	-20.30	-21.80	1.50
20	ЧТ 06.06.19 15:41:06	90°00'13.36"	-28.20	-29.70	1.50
21	ЧТ 06.06.19 15:41:42	89°59'59.59"	-14.40	-16.10	1.70
22	ЧТ 06.06.19 15:50:46	90°00'01.97"	-16.80	-18.40	1.60
23	ЧТ 06.06.19 15:50:47	90°00'01.48"	-16.30	-17.90	1.60
24	ЧТ 06.06.19 15:50:48	90°00'05.97"	-20.80	-22.40	1.60
25	ЧТ 06.06.19 15:50:49	89°59'55.90"	-10.70	-12.30	1.60
26	ЧТ 06.06.19 15:50:50	90°00'05.34"	-20.10	-21.70	1.60
27	ЧТ 06.06.19 15:50:51	89°59'41.92"	-3.30	-1.70	1.60
28	ЧТ 06.06.19 15:50:55	89°59'56.52"	-11.30	-12.90	1.60
29	ЧТ 06.06.19 15:50:56	89°59'56.48"	-11.30	-12.90	1.60
30	ЧТ 06.06.19 15:50:57	90°00'06.58"	-21.40	-23.00	1.60

Поэтому для повышения точности результатов необходимо вычислять рефракцию для конкретного момента наблюдений и для конкретной трассы, что позволяет реализовать турбулентный метод определения рефракции по флуктуациям угла прихода. В противном случае полученные поправки могут не соответствовать действительности

3. Выполненные эксперименты с использованием роботизированных тахеометров подтверждают возможность определения рефракции по флуктуациям угла прихода в реальном масштабе времени. Полученная точность определения рефракции ($\sim 2''$), практически соответствует инструментальной точности используемого прибора, а систематическая ошибка рефракции, вероятнее всего, вызвана недостаточно точным определением высоты отражателя и инструмента, что сказалось, на определении "истинного" значения угла вертикальной рефракции.
4. Важными положительными качествами турбулентного метода определения рефракции по флуктуациям угла прихода являются:
 - для определения рефракции можно использовать серийно выпускаемые геодезические приборы с автоматическим наведением на визирную цель;
 - отпадает необходимость создавать и использовать специальную дополнительную аппаратуру для выполнения каких-либо вспомогательных измерений;
 - для получения величины рефракции практически не увеличивается время измерений, так как частота измерений современными автоматическими приборами составляет несколько Гц в секунду.

- значения рефракции получают в реальном масштабе времени в момент измерений.

5. Турбулентный метод определения рефракции по флуктуациям угла прихода достаточно прост в реализации и практически не усложняет процесс выполнения работ. Основные сложности в его реализации связаны со стоимостью используемых приборов – электронных тахеометров с автоматическим наведением на визирную цель, которые в нашей стране не выпускаются.

Литература / Reference

1. Вшивкова О. В. Разработка концепции и технологии эффективного учета влияния приземного слоя атмосферы на угловые и линейные геодезические измерения: автореферат дис. ... доктора технических наук : 25.00.32 М. Моск. гос. ун-т геодезии и картографии, 2010 . С.- 48
2. Гурвич А.С., Кон А.С., Миронов В.И., Хмелевцов С.С. Лазерное излучение в турбулентной атмосфере / Под ред. В.И. Татарского. М.: Наука.1976.- С. 278.
3. Дементьев Д.В. Анализ классических методов учёта и определения рефракции в приземном слое атмосферы. // Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80. – № 5. – С. 2–11.
4. Дементьев В.Е. Об определении вертикальной рефракции //Известия ВУЗов. Серия Геодезия и аэрофотосъёмка. 1973 №5. С.29-31
5. Дементьев В.Е., Дементьев Д.В., Парамонов А.Г. Современная геодезическая техника и её применение. Учебное пособие для ВУЗов – Орёл: Картуш, 2019.– 500 с
6. Джуман Б. М. Редуцирование зенитных расстояний на период спокойных изображений по вертикальным колебаниям изображений визирных целей //В кн.: Геодезия и аэрофотосъёмка. Львов. 1978. Вып. 28. С. 17—28
7. Зуев В.В. Распространение лазерного излучения в атмосфере. М. Радио и связь. 1981. – С. 288.
8. Зуев В.Е., Банах В.А., Покасов В.В., Оптика турбулентной атмосферы. Л. Гидрометеиздат. 99. 1983.С. 270.
9. Изотов А. А. Соображения об исследованиях в области атмосферной рефракции //Геодезия и картография. 1975. №1. С.12-16.
10. Ламли Дж., Пановский Г. Структура атмосферной турбулентности. М. 1966.С.264
11. Маслич Д. И. Некоторые общие закономерности влияния вертикальной рефракции на

- точность геодезического нивелирования // Геодезия, картография и аэрофотосъемка: Межвед. респ. научно-техн. сборник. Вып. 9. – Львов: Изд-во Львовского университета, 1969. – С. 33–41
12. Мозжухин О.А. К анализу путей развития проблемы учёта рефракции в нивелировании // Геодезия и картография. – 2016. – Т. 77. – № 11. – С.16-19
 13. Островская С.А. Исследование зависимости между взаимнообратными коэффициентами вертикальной рефракции. // В сб.: Геодезия, картография и аэрофотосъемка. Львов. №3. 1983
 14. Сайт Группы компаний «Геодезия и Строительство»-www.gis2000.ru
 15. Татарский В.И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. М. Наука. 1967. С.548
 16. Учет атмосферных влияний на астрономо-геодезические измерения. Под редакцией Островского А.Л. М.: Недра. 1990. С.235.
 17. Юношев Л. С. Боковая рефракция света при измерении углов. М. Недра. 1969. С.96.
 18. Яковлев Н.В. К теории и практике учета суточного хода рефракции при угловых измерениях и азимутальных определениях в геодезических сетях. // Геодезия и картография, 1969. №3. С. 8-17.
 19. Яковлев Н.В. Высокоточные угловые измерения и азимутальные определения в нестационарном поле боковой рефракции.// Дис. д-р техн. Наук. М.; МИИГАиК. 1971.
 20. Яковлев Н.В. Высшая геодезия. – М.: Недра, 1989. – С. 450.
 21. Angus-Leppan, P. V. Surface effects on refraction in precise levelling [Text] / P. V. Angus-Leppan // Conference on Refraction Effects in Geodesy & Conference on Electronic Distance Measurement 5–8 Nov. 1968, New South Wales (Australia) – Univ. of N. S. W., 1969. – P. 74–89.
 22. Bahnert G. Bildflimmern und terrestrische refraction. Vermessungstechnik. N4.1985. P. 127-128.
 23. Brunner F.K. Geodetic Refraction.- Berlin: Shringner. 1984. P. 21
 24. Hübner E. (1977), Einfluss der terrestrischen Refraktion auf den Laserstrahl in bodennahen Luftschichten. Vermessungstechnik, 25(10), 349 – 353.



VERTICAL REFRACTION IN THE SURFACE LAYER OF THE ATMOSPHERE AND THE METHOD OF ITS ACCURATE DETERMINATION

Dementyev D.V.

Group of Companies "Geodesy and Construction", Russia

E-mail: cvj2@mail.ru

Abstract. To ensure high accuracy of geodetic observations in the surface layer of the atmosphere, it is necessary to take into account the influence of refraction. It has not been confirmed experimentally once, that the refraction obtained at the same time for different directions may not be the same. Several dozen methods for determining refraction have been developed. The most popular method of accounting for refraction in periods of quiet images. In the rest of the day errors for vertical refraction can exceed the tool bars by an order of magnitude or more. According to many researchers, the potential of classical methods of determining refraction is almost exhausted. For example, Mozzhukhin O.L. claims [49]: "despite many years of efforts, the problem of accounting for refraction in geodetic measurements has not received even a satisfactory practical solution" are quite justified, as confirmed by the results of numerous studies carried out by various authors in this paper, the results of studies of an alternative turbulent method for determining refraction by fluctuations of the angle of arrival, which allows to determine refraction with high accuracy not only in the period of isothermy, but with unstable temperature stratification of the atmosphere. This method does not require additional equipment, except for an electronic total station with automatic guidance on the sighting target. The accuracy of the refraction determination by this method is $\sim 2''$, i.e. corresponds to the instrumental accuracy of the instrument used.

Keywords: vertical refraction, angle of arrival, Structural characteristic of the refractive index, unstable temperature stratification.

© Дементьев Д.В., 2020

ОВЕРЛЕЙ АНАЛИЗ В ГЕОИНФОРМАТИКЕ

Болбаков Р.Г.

Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), Россия

E-mail: antaros05@ya.ru

Аннотация. Оверлей анализ является частным случаем концептуального смешивания. Концептуальное смешение, называемое также "концептуальной интеграцией" или "приложением представления", относится к области теории познания. Согласно этой теории в психологии, элементы и жизненные отношения из различных сценариев или ситуаций «смешиваются» в подсознательном процессе, который одинаков для мышления и языка. Перенос этой теории в область пространственного анализа и геоинформатики дает новую трактовку концептуального смешивания. В геоинформатике концептуальное смешивание основано на использовании общего пространства или координатной среды для объектов, которые в этом пространстве находятся. Элементы пространственных объектов и из различных сцен или информационных ситуаций «смешиваются» на основе существующих между ними пространственных отношений. Такое смешивание создает новые объекты или детализует исходные пространственные объекты. Процедура когнитивного смешивания является когнитивной. Статья описывает когнитивную процедуру концептуального смешивания, перенесенную из психологических и когнитивных наук в геоинформатику. Описано различие принципов когнитивного смешивания в психологии и в геоинформатике. Раскрыты отдельные операции когнитивного смешивания с использованием теории множеств и математической логики. Описана основная операция, применяемая в геоинформационных системах - пространственный оверлей. Статья доказывает и показывает не коммутативность пространственных операций со стратифицированной информацией. Приведены примеры когнитивного смешивания в оверлейном анализе.

Ключевые слова: геоинформатика, пространственный анализ, геознание, концептуальное смешивание, оверлей анализ, логический анализ.

Введение

Одной из основных задач геоинформатики является получение новых знаний. При этом, дополнительно к обычным знаниям, геоинформатика позволяет получать пространственное знание и геознание. [3, 5]. Необходимо различать пространственное знание [9, 12] и геознанием. Пространственное знание в качестве основы использует геометрические образы, методы искусственного интеллекта и методы пространственных рассуждений. Геознание также использует методы геометрии и реальные формы пространственных объектов. Геометрия является объединяющим компонентом геознания и пространственного знания. Геометрия является объединяющим компонентом геодезии, фотограмметрии картографии и геоинформатики. Пространственные отношения также

являются объектом исследования в геометрии, геоинформатике и пространственном знании. Поэтому пространственные отношения [2, 6] являются основой формирования геознаний. Основные компоненты геознания формируются на основе отношений форм, координат и взаимного расположения. В геоинформатике широко применяют интерактивные методы обработки пространственной информации. Интерактивные методы обработки требуют применения когнитивного моделирования [1] и когнитивной логики [7]. Таким образом, применение когнитивных методов является объективной потребностью геоинформатики. Концептуальное смешивание (conceptual blending theory [16, 28]) относится к области когнитивного моделирования. Оно применяется также в области искусственного интеллекта. Однако

геоинформатике концептуальное смешивание приобретает специфические формы, связанные с пространственным знанием и геоинформацией и процедурами интерактивного визуального моделирования.

Эволюция концептуального смешивания

Концептуальное смешивание как технология пришла из психологии в область информационного моделирования и в область когнитивной семантики. В теории познания и психологии концептуальное смешивание, называемая также концептуальная интеграция является одной из базисных теорий познания, разработанной Жилем Фоконье [13] и Марком Турнером [18]. Согласно этой теории, элементы и жизненные отношения из различных сценариев "смешаны" в подсознательном процессе, который предполагается повсеместное применение к повседневной мысли и языка. Трансформация "жизненных отношений" в пространственные отношения приводит к возможности применения этой теории в геоинформатике.

Методически концептуальное смешение тесно связано с теорией фреймов, но выходит за пределы этой теории, прежде всего потому, что дополняет теорию фреймов методами как *комбинировать* фреймы

Концептуальное смешивание первоначально было тесно связано с основами психологии познания и лингвистикой. Психологическая теория смешивания исследует в основном процесс объединения фреймов (или кадров, или сцен). В когнитологии эта теория выходит за рамки психологии в том, что решаются задачи не только объединения, но разных комбинаций фреймов, для которых объединение - одна из многих операций. Первая компьютерная модель процесса,

называемого "вид приложения", которая тесно связана с концептуальным смешиванием применялась в разных областях. Это область причинно-следственного анализа, область рассуждения о сложных устройствах [20] и область научного рассуждения [21]. Более поздние расчетные счета смешения были разработаны в таких областях, как математика [14]. Некоторые более поздние модели обработки информации на основе концептуального смешивания использовали основаны структурные преобразования, которых не существовало в психологии.

Важным различием между концептуальным смешиванием в психологии и геоинформатике является постановка задачи. В психологии считается, что есть некая сложная модель, симбиоз, которая формирует мотивы поведения. Задача психологического исследования в анализе этой модели для выяснения мотивов и причинно следственных связей.

В геоинформатике и области искусственного интеллекта эта задача (декомпозиции) встречается, но дополняется другой задачей. Есть исходные информационные модели и необходимо осуществит концептуальное смешивание для получения нового графического образа, который человек может даже не представить.

В процессуальном плане также имеется существенное различие. В психологии декомпозиция осуществляется эмпирически. В геоинформатике применяют семантические информационные единицы [23], которые имеют визуальную и ареальную форму представления. Эти единицы формализованы и образуют свой язык, например язык условных картографических знаков или язык пространственной агрегации. Использование формализованных

единиц и их комбинаций дает возможность применять теоретико-множественные операции, топологические операции, логические операции для работы с линейными и ареальными множествами для реализации концептуального

смешивания в геоинформатике.

Классическая модель концептуального смешивания имеет вид на рис. 1. основой смешивания является общее пространство. В геоинформатике это реальное пространство.

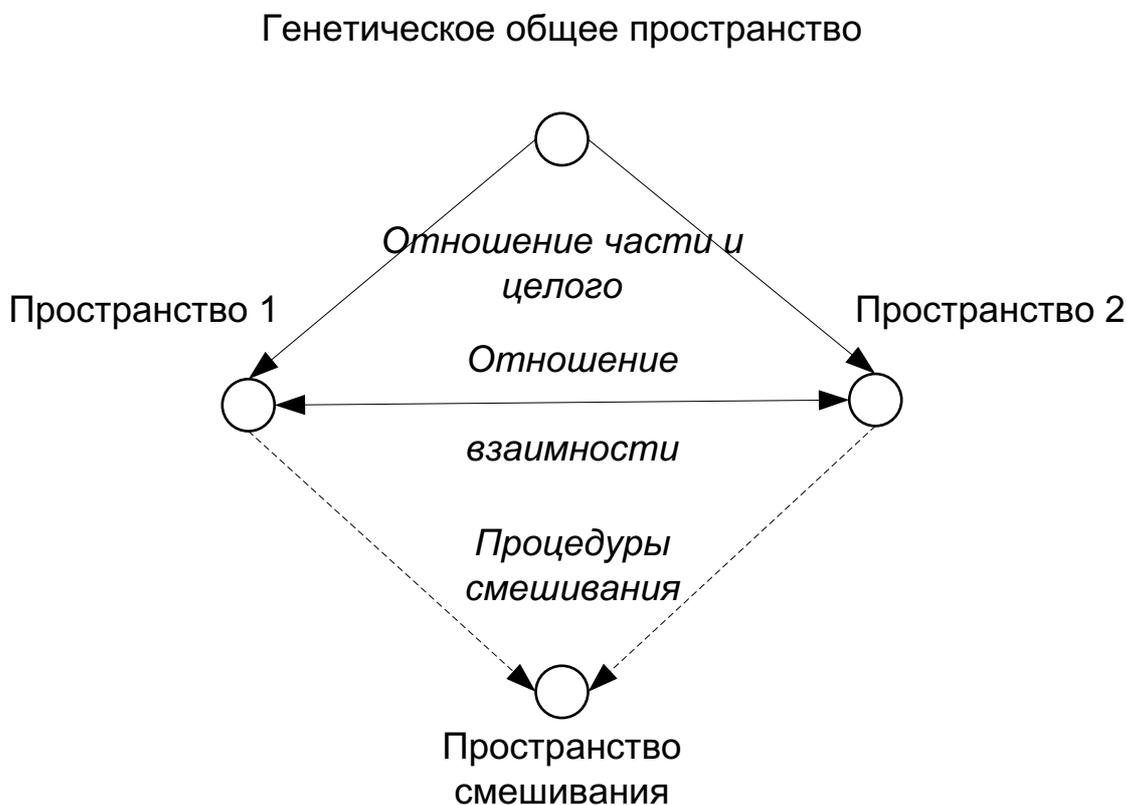


Рис. 1 Схема концептуального смешивания

Между пространством 1 и пространством 2 существует отношение взаимности. Смешивать любые пространства нельзя. В геоинформатике взаимность обеспечивается единой координатной средой и пространственными отношениями. В литературе отсутствует семантический анализ концептуального смешивания. По нашему мнению механизм концептуального смешивания использует семантическое окружение пространственных объектов и их информационных единиц [24]. Информационное взаимодействие семантического окружения пространственных объектов и самих объектов создают эффекты концептуального смешивания.

Процедуры смешивания в геоинформатике реализуются с помощью ГИС или программ компьютерной обработки. В геоинформатике концептуальное смешивание по существу является пространственным смешиванием. Оно использует процедуры программного обеспечения ГИС, наиболее характерной из которых является процедура оверлея.

Оверлей как одна из форм концептуального смешивания

Одна из форм геознания знания называется морфологической. Концептуальное смешивание может менять морфологическую и содержательную составляющие

геознания. В геоинформатике концептуальное смешивание трансформировалось в одну из форм пространственного анализа - оверлейный пространственный анализ (Overlay Spatial Analysis). Пространственные отношения близки теоретико-множественным отношениям, поэтому формализм теоретико-множественных отношений применим для описания пространственных отношений. В настоящее время в геоинформационных системах этот формализм расширен, тем более, что пространственные отношения отражают пространственно-логические связи между пространственными объектами. Целый ряд пространственных операций выполняется с помощью процедуры, которая называется оверлей. Это привело к формированию направления пространственного анализа оверлей анализ (Overlay analysis) [27]. Упрощенно оверлей анализ можно рассматривать как наложение пространственных структур, имеющих общую координатную среду и общие пространственные отношения. Для этого анализа характерны следующие ключевые понятия : методы наложения, функции наложения. При компьютерной обработке появляется понятие инструменты наложения.

При оверлее различают объектный оверлей и растровый (полевой) оверлей. При объектном оверлее осуществляют наложение объектов или их элементов: точек, линий или полигонов. При растровом оверлее осуществляют наложение растровых полей.

Ключевыми элементами в объектном оверлее являются входной слой, оверлейный слой и выходной слой. Функция наложения разделяет объекты на входном слое, где они перекрываются объектами на уровне наложения. Новые области создаются там, где пересекаются многоугольники. Если входной слой содержит линии, линии

разделяются там, где их пересекают многоугольники. Эти новые функции сохраняются в выходном слое - исходный входной слой не изменяется. Атрибуты объектов в оверлейном слое назначаются соответствующим новым объектам в выходном слое вместе с исходными атрибутами из входного слоя

В растровом наложении каждая ячейка каждого слоя ссылается на одно и то же пространственное положение в едином координатном пространстве. Это делает его подходящим для объединения характеристик множества слоев в один слой. Обычно числовые значения присваиваются каждой характеристике, что позволяет математически комбинировать слои и назначать новое значение каждой ячейке в выходном слое

На рис. 2 приведен пример растрового оверлея путем добавления значения растра. Два растровых поля суммируются для создания выходного растра со значениями поля, каждая ячейка которого есть сумма соответствующих ячеек входных растров.

Рис. 2 описывает простую ситуацию для двух растровых полей. На практике полей может быть больше. Знак минус у некоторых значений означает, что выбранное свойство (например, интенсивность) ослабляется.

Практические вопросы, которые решает оверлей анализ такие:

- Определить тип почвы в данной зоне землепользования.
- Какие дороги находятся в ближайшем и отдаленном округах?
- Какие природные ресурсы имеются на территории ?

Для ответа на подобные вопросы, картографы привыкли создавать карты на прозрачных пластиковых листах, накладывали их друг на друга на столе с подсветкой и создавали новую карту на чистом листе на основе перекрытия данных. В ГИС эту задачу в

автоматическом режиме решает оверлей. Такая операция наложения гораздо сложнее, чем простое слияние векторных карт. Она не только решает задачи наложения но и выполняет расчеты того чего нет, но то что возможно. Например, расчет зон затопления.

Ключевыми элементами операции оверлей являются входное множество (условно А), покрывающее множество (их может быть несколько – условно В), и выходное результирующее множество условно С. Каждое множество может представлять совокупность слоев. Новые образы (морфологические информационные конструкции) создаются там, где происходит информационное

взаимодействие между множествами в соответствии с заданной логической процедурой. Элементы слоев имеют аналогичные маленькие буквы. На основе операции новые признаки сохраняются в выходном слое, при этом исходный входной слой не изменяется. На рис. 3-8 приведены примеры объектного оверлея для разных пространственных операций, демонстрирующие разнообразие применения концептуального смешивания в геоинформатике и искусственном интеллекте. Для единообразия и удобства анализа входные множества обозначены буквами А, В, а выходное (результат) обозначено буквой С.

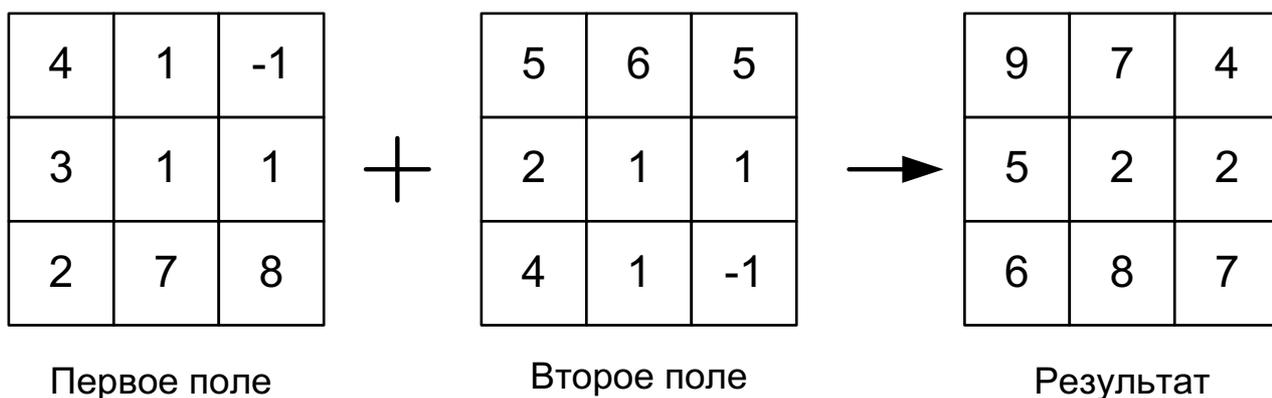


Рис. 2. Растровый оверлей с суммированием значений

На рис. 3. приведена операция идентификации. Эта операция отвечает на вопрос: находится ли множество В в множестве А и где оно находится?

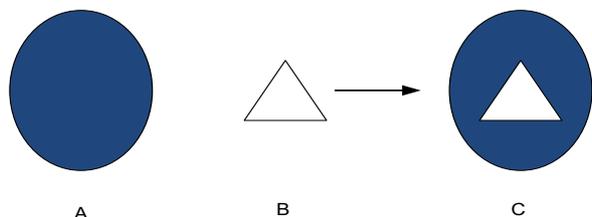


Рис. 3. Оверлейная операция идентификации (Identity)

Синтаксис операции идентификации на рис. 3. следующий «с=a + a&b». По результату этой

операции на рис. 3 следует вывод, что объект В находится в центре объекта А. На рис. 4. приведена операция пересечения пространственных объектов.

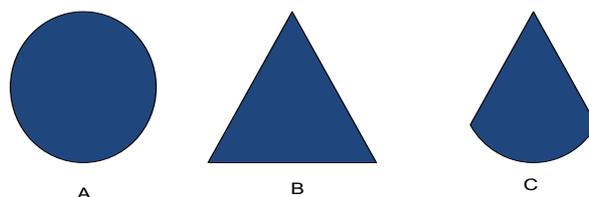


Рис. 4. Оверлейная операция пересечения (Intersect)

Эта операция отвечает на вопрос: какое множество С является общим для множества В и множеств А в данной

координатной среде? Для ситуации на рис. 4 исходные множества имеют общее начало координат в геометрических центрах. Это же начало координат имеет результирующее множество С. От смещения начал координат меняется множество С. Синтаксис операции пересечения следующий « $c = a \& b$ »

На рис. 5 приведена оверлейная операция симметричной разности.

Синтаксис операции симметричной разности следующий « $c = a + b - a \& b$ ». Эта операция отвечает на вопрос: какое множество С не включает общие элементы множества В и множества А в данной координатной среде?

На рис. 6 приведена операция объединения. Эта операция отвечает на вопрос: какое множество С включает множество В и множество А в данной координатной среде? Следует подчеркнуть, что в отличие от теории множеств в геоинформатике элементы множества имеют координаты и определены в координатной системе.

Синтаксис операции объединения следующий « $c = a \vee b$ ». Характерным для пространственного анализа и стратифицированной информации является не коммутативность. Это означает, что во многих операциях результат зависит от последовательности исходных множеств.

На рис. 7 показана разность между множествами В заданной последовательности.

На рис. 8 показана разность между множествами в другом порядке .

Рисунки 7 и 8 показывают, что в зависимости от последовательности множеств результат оверлейной операции может существенно меняться. Рассмотренные операции оверлея являются простейшими примерами использования пространственных отношений для формирования пространственных моделей.

На практике встречаются более сложные комбинации с большим числом

слоев и сложным синтаксисом. Именно по этой причине оверлей применяют в теории искусственного интеллекта [19] для формирования образов, которые не в состоянии представить человеческое воображение.

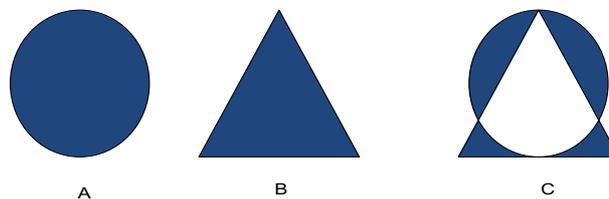


Рис. 5. Оверлейная операция симметричной разности (Symmetrical difference)

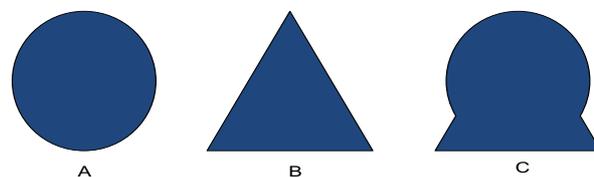


Рис. 6. Оверлейная операция объединения

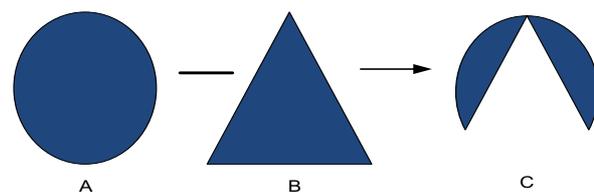


Рис. 7. Оверлейная операция разности $C = A - B$

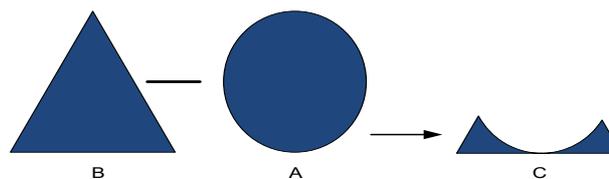


Рис. 8. Оверлейная операция разности $C = B - A$

Концептуальное смешивание помимо оверлея связано с процедурами стратификации [4], дихотомического анализа [25] и оппозиционного анализа [22]. Стратификация и дихотомический анализ предшествуют концептуальному смешиванию и в отдельных случаях являются условием его применения. Оппозиционный анализ применяют после концептуального смешивания. Он дополняет эту технологию. Можно говорить о том, что концептуальное

смешивание, стратификация, оппозиционный и дихотомический анализ - комплементарны [8, 10, 11] и составляют раздел пространственного анализа. Концептуальное смешивание и пространственный оверлей являются инструментом пространственного анализа и получения пространственных знаний [15, 17, 26] и геознаний.

Дискуссия

Концептуальное смешивание по названию не является корректным. Первоначально оно задумывалось как технология работы с концептами, что и определило название "концептуальное смешивание". Однако фактически эта теория оперирует с фреймами, что является более широким классом модельных объектов по сравнению с концептами. В геоинформатике концептуальное смешивание основано на работе с пространственными структурами и является одним из видов пространственного анализа. Когнитивность этой теории в том, что результат когнитивного смешивания выходит за рамки человеческого представления. Только получив результат, человек начинает его анализировать и накапливать опыт. Во многих работах посвященных концептуальному смешиванию и оверлею обходят стороной условия соответствия координатных систем, в которых находятся исходные множества или объекты. Изменение начал координат исходных множеств существенно меняет результат концептуального смешивания.

Заключение

Концептуальное смешение является новой областью исследований для моделей когнитивного анализа и познания. Когнитивность этого метода в геоинформатике включает следующие аспекты. Непредсказуемость результата в ходе когнитивного смешивания. Когнитивный анализ результатов смешивания. Создание на основе

когнитивного анализа стереотипов и накопление опыта. Использование человеческого опыта в моделировании является признаком когнитивности такого вида моделирования.

Концептуальное смешивание в области пространственного знания и геознания является синтезом операций с пространственными отношениями и логических операций. Это повышает верифицируемость результатов пространственного анализа и достоверность геознания. Концептуальное смешивание является развитием методов пространственного анализа. Применение концептуального смешивания расширяет класс задач пространственного анализа и управления. Оно позволяет оперативно принимать меры в чрезвычайных ситуациях. Концептуальное смешивание решает задачи обновления баз геоданных и обновления инфраструктур пространственных данных. В тоже время в этой области есть серьезные пробелы по части влияния систем координат на координатное смешивание и влияние ошибок при концептуальном смешивании. Геоинформатика работает не абстрактными множествами, а с реальными объектами, которые содержат ошибки измерений и вычислений. Это составляет основу дальнейших исследований в этой области.

Литература / Reference

1. Болбаков Р. Г. Основы когнитивного управления // Государственный советник. – 2015. - №1. – с45-49 / Bolbakov R. G. Fundamentals of cognitive management // State Advisor. - 2015. - No. 1. - p45-49
2. Васютинская С.Ю. Пространственные отношения в кадастре // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №4 (12). – с.91-96. / Vasyutinskaya S.Yu. Spatial Relations in the Cadastre // Educational Resources and Technologies. - 2015. - No. 4 (12). - p. 91-96.
3. Кулагин В. П., Цветков В. Я. Геознание: представление и лингвистические аспекты // Информационные технологии. - 2013. - №12. - с.2-9. / Kulagin V. P., Tsvetkov V. Ya. Geoscience: presentation and linguistic aspects // Information Technologies. - 2013. - No. 12. - p. 2-

- 9.
4. Майоров А.А. Стратификация в геоинформатике // Славянский форум. - 2017. -2(16). - с.45-51. / Mayorov A.A. Stratification in geoinformatics // Slavic Forum. - 2017.2 (16). - p. 45-51.
5. Савиных В.П. Геознание. - М.: МАКС Пресс, 2016. - 132с. / Savinyh V.P. Geoznanie. - M.: MAKS Press, 2016. - 132s. / Savinykh V.P. Geoknowledge. - M.: MAX Press, 2016. -- 132s.
6. Цветков В.Я. Виды пространственных отношений // Успехи современного естествознания. - 2013. - № 5 -с.138-140 / Tsvetkov V.Ya. Types of spatial relationships // Successes in modern science. - 2013. - No. 5 -p. 138-140
7. Цветков В.Я. Когнитивная логика // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019. - № 1. - с. 106-110 / Tsvetkov V.Ya. Cognitive logic // IT-NOU: Information technology in science, education and management. - 2019.- No. 1. - p. 106-110
8. Цветков В.Я. Комплементарность информационных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №2. - с.182-185. / Tsvetkov V.Ya. Complementarity of information resources // International Journal of Applied and Basic Research. - 2016. - No. 2. - p. 182-185.
9. Цветков В.Я. Пространственные знания // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2013. - №7. - с.43-47. / Tsvetkov V.Ya. Spatial knowledge // International Journal of Applied and Basic Research. - 2013. - No. 7. - p. 43-47.
10. Щенников А.Н. Комплементарность сложных вычислений // Славянский форум. -2018. - 2(20). - с.118-123. / Schennikov A.N. Complementarity of complex calculations // Slavic forum. -2018. - 2 (20). - p.118-123
11. Щенников А.Н. Модели и комплементарность // Славянский форум. - 2019. - 1(23). - с.14-19. / Schennikov A.N. Models and complementarity // Slavic forum. -2019. - 1 (23). - p. 14-19.
12. Antony Galton. Spatial and temporal knowledge representation // Earth Science Informatics, September, 2009, Volume 2, Issue 3, pp 169-187.
13. Fauconnier G., Turner M. The way we think: Conceptual blending and the mind's hidden complexities. – Basic Books, 2008.
14. Guhe, Markus, Alison Pease, Alan Smaill, Mari-carmen Martinez, Martin Schmidt, Helmar Gust, Kai-Uwe Kühnberger and Ulf Krumnack (2011). A computational account of conceptual blending in basic mathematics. Cognitive Systems Research Volume 12, Issues 3–4, September–December 2011, pp. 249–265 Special Issue on Complex Cognition.
15. Ishikawa T., Montello D. R. Spatial knowledge acquisition from direct experience in the environment: Individual differences in the development of metric knowledge and the integration of separately learned places //Cognitive psychology. – 2006. – V.52. – №. 2. – p.93-129.
16. Joy A., Sherry Jr J. F., Deschenes J. Conceptual blending in advertising //Journal of Business Research. – 2009. – Т. 62. – №. 1. – С. 39-49.
17. Kuipers B. The spatial semantic hierarchy //Artificial intelligence. – 2000. – V. 119. – №. 1-2. – p. 191-233.
18. Mark Turner, Gilles Fauconnier: The Way We Think. Conceptual Blending and the Mind's Hidden Complexities. New York: Basic Books 2002, p. 37.
19. Openshaw S. Some suggestions concerning the development of artificial intelligence tools for spatial modelling and analysis in GIS //The annals of regional science. – 1992. – V. 26. – №. 1. – p. 35-51.
20. Shrager, J. (1987) Theory Change via View Application in Instructionless Learning. Machine Learning 2 (3), 247–276.
21. Shrager, J. (1990) Commonsense perception and the psychology of theory formation. In Shrager & Langley (Eds.) Computational models of scientific discovery and theory formation. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann.
22. Tsvetkov V. Ya. Opposition information analysis// European Journal of Technology and Design . -2014. № 4(6). p189-196.
23. Tsvetkov V. Ya. Semantic Information Units as L.Florodi's Ideas Development // European researcher. Series A. 2012. № 7 (25). С. 1036-1041.
24. Tsvetkov V. Ya. Semantic environment of information units // European researcher. 2014, № 6-1 (76).p. 1059-1065.
25. Tsvetkov V.Ya. Dichotomous Systemic Analysis// Life Science Journal 2014. -11(6).- pp586-590.
26. Tversky B. Levels and structure of spatial knowledge //Cognitive mapping: Past, present and future. – 2000. – p.24-43
27. Walke N. et al. GIS-based multicriteria overlay analysis in soil-suitability evaluation for cotton (*Gossypium spp.*): A case study in the black soil region of Central India //Computers & Geosciences. – 2012. – V. 41. – p.108-118.
28. Watts R. J. Rudeness, conceptual blending theory and relational work //Journal of Politeness Research. Language, Behaviour, Culture. – 2008. – Т. 4. – №. 2. – С. 289-317.



OVERLAY ANALYSIS IN GEOINFORMATICS

Bolbakov R.G.

Russian Technologies University (RTU MIREA), Russia

E-mail: antaros05@ya.ru

Abstract. *Overlay analysis is a special case of conceptual blending. Conceptual blending is also called "conceptual integration" or "presentation application." It belongs to the field of theory of knowledge. According to this theory in psychology, elements and life relationships from different scenarios or situations are "mixed" in the subconscious process, which is the same for thinking and language. The transfer of this theory to the field of spatial analysis and geoinformatics gives a new interpretation of conceptual mixing. In geoinformatics, conceptual mixing is based on the use of a common space or coordinate environment for objects that are in this space. Elements of spatial objects and objects from different scenes or informational situations are "mixed" on the basis of the spatial relations existing between them. This blending creates new features or refines the original features. The cognitive blending procedure is cognitive. The article describes the cognitive procedure of conceptual mixing, transferred from the psychological and cognitive sciences to geoinformatics. The article describes the difference in the principles of cognitive mixing in psychology and geoinformatics. The article describes individual cognitive blending operations using set theory and mathematical logic. The article explores the main operation used in geographic information systems - spatial overlay. The article proves and shows that the spatial operations with stratified information are not commutative. The article contains examples of cognitive mixing in overlay analysis.*

Keywords: *geoinformatics, spatial analysis, geo knowledge, conceptual mixing, overlay analysis, logical analysis.*

© Болбаков Р.Г., 2020

КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ГЕОИНФОРМАТИКЕ*Дышленко С.Г.*Федеральный научный центр
Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, Россия**E-mail:** dishlenko@yandex.ru

Аннотация. Статья описывает когнитивные модели в геоинформатике. Дается сравнение когнитивного сбора информации и технического сбора информации с помощью измерительных устройств. При техническом сборе информация собирается точка за точкой. При техническом сборе область исследования включает объект. При когнитивном сборе информация собирается в пространственной области. При когнитивном сборе область исследования включает пространственную ситуацию с набором объектов. Результатом сбора при измерениях является множество количественных значений параметров. Результатом когнитивного сбора является когнитивная система или качественная система – прообраз целостной сложной системы. Статья вводит понятие когнитивного информационного взаимодействия. Когнитивные методы уменьшают информационную неопределенность и не структурированность информации, за счет когнитивного рекурсивного или циклического взаимодействия. Методы когнитивного моделирования близки теории нечетких множеств, поскольку их применение обусловлено нечеткостью и информационной неопределенностью. В теории нечетких множеств информационная неопределенность – неустраняемая характеристика. Она анализируется путем статистического анализа и специальных методов мягких вычислений. Результаты применения теории нечетких множеств носят вероятностный характер. Когнитивные методы позволяют уменьшать информационную неопределенность за счет когнитивного ресурса. Разные субъекты по разному уменьшают информационную неопределенность. Принципиально информационная неопределенность может быть полностью устраняема за счет рекурсивных и итеративных методов когнитивного моделирования. Методика когнитивного моделирования в геоинформатике заключается в адаптации и применении когнитивных моделей для решения задач геоинформатики, включая картографию. Статья описывает информационный подход в когнитологии. Статья раскрывает содержание когнитивного подхода в геоинформатике. Статья раскрывает содержание информационной и интеллектуальной модели. Статья вводит понятие когнитивной модели. Показано, что когнитивная модель дополняет информационную и интеллектуальную модель в общем комплексе познания окружающего мира.

Ключевые слова: геоинформатика, модели, когнитология, информационные модели, когнитивные модели, интеллектуальные модели, когнитивный подход, когнитивное моделирование.

Введение

Современное развитие геоинформатики связано со многими факторами. Геоинформатика возникла как технологическая наука, но с течением времени стала универсальной наукой, интегрирующей многие смежные науки [7]. Существуют общенаучные тенденции развития наук, в частности междисциплинарный перенос знаний. Одной из общенаучных тенденций является применение методов когнитологии и когнитивного моделирования при решении прикладных задач. Можно констатировать, что в настоящее время в ряде наук: искусственный интеллект, геоинформатика, образование, информатика, управление и другие науки интенсивно применяют

когнитологию [22] или упрощенно когнитивного моделирования. Когнитология (cognitive science) [35] — наука «о мышлении» или наука, «изучающая и моделирующая принципы организации и работы естественных и искусственных интеллектуальных систем». Латинский корень *cognito* («со» — вместе и «*gnoscere*» — знаю) обозначает познание некоторой системы или образа системы [1]. Происходит и обратный процесс – обогащение когнитологии методами взаимодействующих с ней наук. Поэтому современная когнитология является междисциплинарным направлением, охватывающим: искусственный интеллект, психологию, лингвистику, антропологию и образование. Когнитивная наука опирается на пять

оснований: представление знаний, речь-язык, обучение, мышление и восприятие [4, 18]. Методы когнитивного моделирования близки теории нечетких множеств, поскольку их применение обусловлено нечеткостью и информационной неопределенностью. Различие в том, что нечеткость в теории нечетких множеств неустранимая характеристика, которая анализируется за счет статистического анализа и специальных методов мягких вычислений. Результаты применения теории нечетких множеств носят вероятностный характер. Когнитивные методы позволяют уменьшать информационную неопределенность [10] и не структурированность информации. В отдельных случаях когнитивные методы позволяют эффективно решать задачи и достигать поставленной цели не с помощью вероятного подхода, а с помощью детерминированных моделей. Когнитивное моделирование с использованием пространственной информации [32] имеет свои особенности. Это делает актуальным

исследование когнитивного моделирования в геоинформатике. Условным недостатком когнитивных методов является зависимость их эффективности от уровня интеллекта субъекта или системы, которая эти методы применяет. Рост интеллекта влечет рост эффективности когнитивного моделирования. Низкий интеллект дает не качественное решение или не дает его вообще.

Сбор и когнитивная обработка первичной информации

Для того чтобы выделить особенности когнитивного моделирования можно сравнить техническую технологию сбора информации в геоинформатике и когнитивную технологию анализа первичной информации. На рис.1 приведена схема сбора информации с помощью прибора или технического устройства. Схема на рис.1 содержит три фазы: селекция, измерение, преобразование. Под фазами показан их тип.

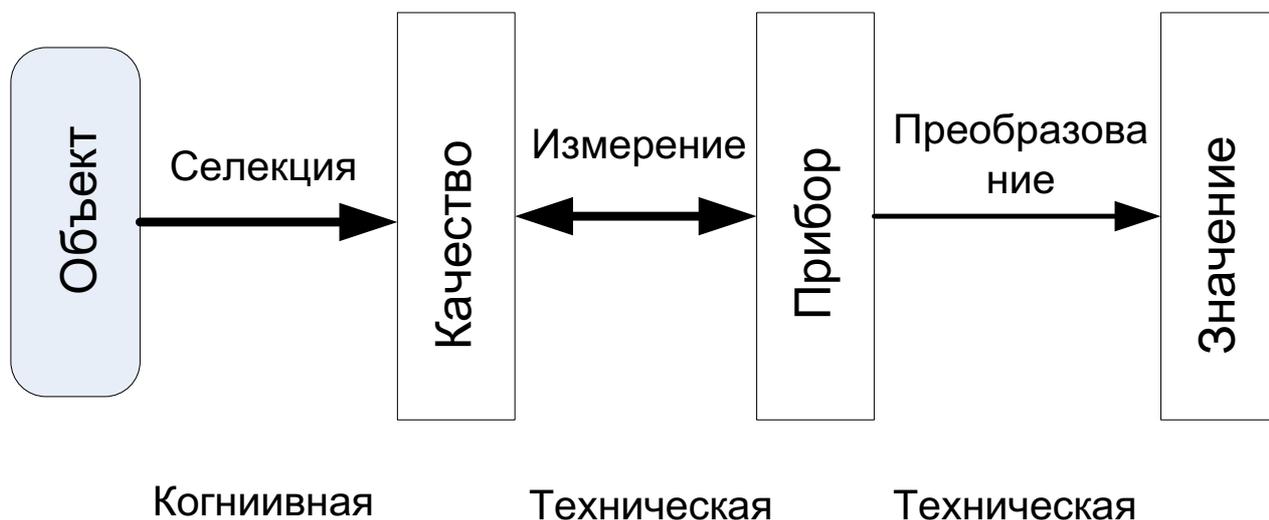


Рис.1. Схема сбора информации на основе технического измерения с помощью прибора

Обращает на себя внимание, что первая фаза – селекция является когнитивной. Перед измерениями субъект должен выбрать характеристику которая измеряется и задать какие то параметры измерения:

единицы измерения, масштаб измерения, время измерения, особенность измерения, погрешность измерения. Следует отметить, что в качестве исходного служит объект, параметры которого измеряет субъект с

помощью прибора. Схема сбора информации на рис.1 1 может быть названа объектно – параметрической, поскольку измеряют те параметры объекта, которые выбирает субъект. В схеме измерения существует влияние субъекта, который может измерить не тот параметр, выбрать не тот масштаб или не те единицы измерения.

Использование приборов не исключает влияние человека и собирает информацию последовательно точка за точкой. Таким образом, технология на рис.1 является последовательной. При этом ошибки измерения одной точки (геодезическими или фотограмметрическими методами) не обязательно влекут ошибки измерения другой точки. То есть такая схема измерения может рассматриваться как автономная.

Актуальность когнитивных и интеллектуальных технологий сбора информации обусловлена проблемой больших данных, которая также имеет место в геоинформатике [20, 22]. В этом

случае технические методы сбора становятся не эффективными.

На рис.2 приведена когнитивная схема сбора информации. Она имеет три фазы и все три фазы являются когнитивными. Принципиальным на рис.2 является то, что объектом исследования является некая ситуация (информационная ситуация), а не отдельный объект. На схеме когнитивным сенсором (когн сенсор) может быть субъект, когнитивная система или интеллектуальная система. Когнитивное взаимодействие является многоканальным. Оно включает: первичное восприятие, интерактивную детализацию, интерактивную рекурсию, генерализацию ситуации. Оно позволяет в определенных пределах осуществлять взаимодействие с использованием визуальных каналов и подключения когнитивной области субъекта взаимодействия. Это дает основание ввести понятие когнитивного информационного взаимодействия

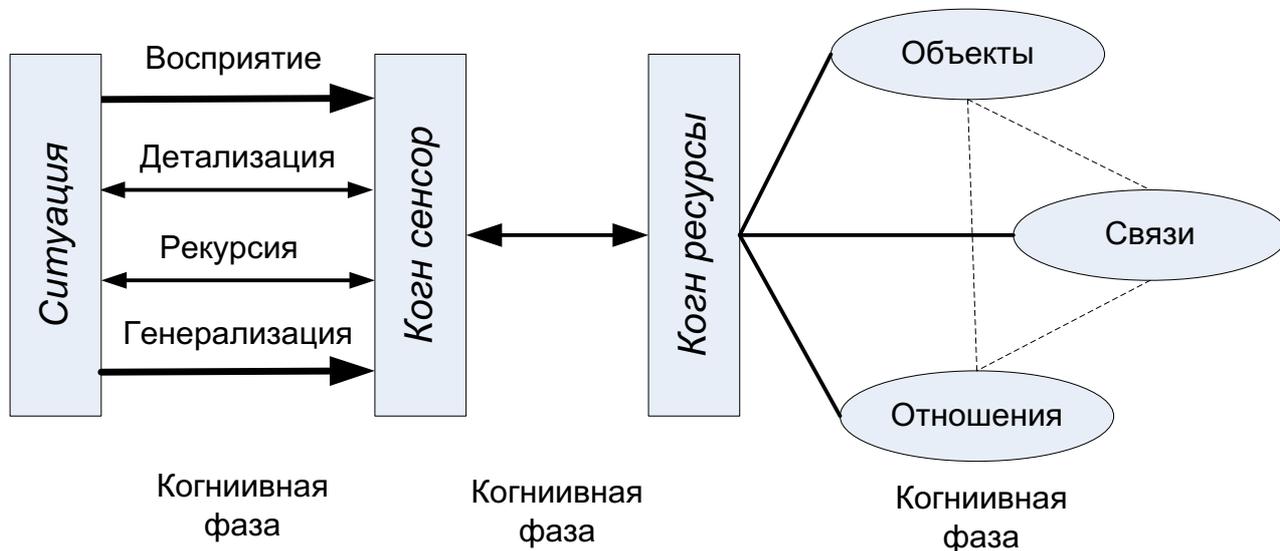


Рис.2. Схема сбора информации на основе когнитивного моделирования

На первой фазе одним из видов когнитивного взаимодействия является интерактивное взаимодействие. Оно показано двойными стрелками. Интерактивность является одним из характерных свойств когнитивных технологий. В простейшем случае

модель когнитивного взаимодействия можно рассматривать как цикл «запрос – ответ». Это приводит к понятию цикличности и к принципу цикличности когнитивного взаимодействия.

Принцип цикличности когнитивного моделирования или взаимодействия состоит в том, что

процесс взаимодействия состоит из множества циклов [30]. Принцип цикличности отражает известное положение о том, что восприятие окружающего мира в большинстве случаев включает совокупность повторяющихся процедур, образующих циклы.

Под когнитивным взаимодействием [13] понимают двухсторонний и многоканальный процесс передачи информационных воздействий от исходной ситуации к когнитивному сенсору (рис.2) На следующей фазе подключается когнитивная область или когнитивный ресурс для анализа информации, поступающей при когнитивном взаимодействии. При когнитивном моделировании происходит буферизация поступающей информации. Она первоначально обрабатывается в когнитивной области, а затем осуществляют формирование системы, включающей: объекты, связи и отношения. В геоинформатике, картографии, геодезии и фотограмметрии эти отношения являются пространственными.

На последней фазе создается когнитивная система – прообраз целостной сложной системы. Чем точнее описание когнитивной системы (объекты, связи, отношения), тем целостней описание итоговой системы как модели ситуации или окружающего мира. От фазы один зависит результат на фазе три. Когнитивная система (объекты, связи, отношения) может быть рассмотрена как качественная модель сложной системы.

Когнитивное моделирование включает влияние человека и собирает информацию групповым методом с учетом связей между объектами ситуации. Такая технология является параллельной и связанной. При этом ошибки измерения одной точки или объекта влекут ошибки измерения другой точки или объекта, поскольку при сборе формируют связи.

Технические методы сбора являются объективными, поскольку не зависят от субъекта. Когнитивные методы сбора являются субъективными, поскольку зависят от субъекта. При этом появляются дополнительные характеристики: обозримость, воспринимаемость, сравнимость, интерпретируемость, когнитивная сложность [5].

Возможны детальные виды сложности: сложность обозрения, сложность восприятия, сложность сравнения, сложность интерпретации. Эти виды сложности лежат в когнитивной области интерпретатора (человек, компьютер, интеллектуальная система). Эти виду сложности являются условными, поскольку уменьшаются с ростом интеллекта когнитивного сенсора. Когнитивная сложность описания связана со сложностью представления и с объемом когнитивных ресурсов. В лингвистике и в области вычислительной техники эту сложность связывают с семантическим разрывом [16]. В заключении следует отметить качественное различие результатов в схеме на рис. 1 и схеме на рис.2. В схеме на рис.1 получают набор (коллекцию, совокупность, множество) количественных значений качественных параметров.

В схеме на рис.2 получают качественную систему связанных характеристик. Для определения количественных характеристик в этой схеме нужны дополнительные исследования и возможно измерения или расчеты. Схема на рис.1 задает данные, а схема на рис.2 задает систему.

Методика когнитивного моделирования

Методика когнитивного моделирования в геоинформатике заключается в адаптации когнитивных моделей и процессов применительно к области геоинформатики. Она включает сравнение информационных и интеллектуальных моделей и развитие

на этой основе понятия когнитивная информационная модель. Методика включает получение и применение когнитивной модели (объектов, процессов, ситуаций) на основе использования схемы обработки информации

Вычисления связаны с компьютерными технологиями, принятие решений относится к когнитивным системам [12]. Если обозначит через X исходную ситуацию, а окончательное решение через A_T , то в реальной практике возможно наличие группы альтернативных маршрутов решений, например,

$$\left. \begin{array}{l} X \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow A_T; \\ X \rightarrow H \rightarrow P \rightarrow A_T; \\ X \rightarrow G \rightarrow K \rightarrow A_T \\ X \rightarrow G \rightarrow Z \rightarrow A_T \text{ и т.п.} \end{array} \right\} (1)$$

Здесь D , E , H , P , G , K – промежуточные этапы когнитивного анализа. Решения (1) приводят к одному результату. Некоторые допускают переход от одного маршрута к другому. Лицу, принимающему решение, необходимо выбрать оптимальный, по его мнению, маршрут и действовать согласно предписанию этого маршрута. Существуют понятия когнитивные процессы и технологии, когнитивный анализ [6].

Когнитивные технологии – технологии познания, использующие информацию о связях, отношениях и структуре объекта или ситуации [14].

Когнитивный анализ – анализ, основанный на последовательном формировании когнитивных моделей и структуризации информации и моделей, на основе когнитивных методов.

Информационный подход в когнитологии – использование методов и процессов информатики, информационных моделей – для построения когнитивных моделей и проведения когнитивного моделирования. Особенностью информационного подхода в когнитологии является формализация

когнитивных моделей и процессов в терминах процессов информационного взаимодействия и в терминах информационных единиц. Вместе с тем требование простой формализации когнитивного моделирования в ряде случаев, вынуждает упрощать модели и отказываться от описания сложных феноменов. Недостаток информационного подхода в том, что он не учитывает особенностей человеческой психики.

Когнитивный подход в геоинформатике – использование методов и процессов когнитологии для построения пространственных моделей, проведения геоинформационного моделирования, выполнения пространственного анализа. Особенностью когнитивного подхода в геоинформатике является формализация познавательных процессов в терминах геоинформатики. Когнитивный подход в геоинформатике учитывает особенности человеческой психики и использует интеллектуальные ресурсы. Примером использования когнитивного подхода является применение опыта. Опытный картограф быстрее и качественнее составит карту, чем неопытный, поскольку использует когнитивный ресурс. Опытный пользователь ГИС быстрее осуществит построение пространственной модели, чем неопытный.

Из этого сравнения вытекает важный вывод о том, что когнитивный подход и когнитивные ресурсы позволяют использовать неявное знание [8] (опыт) и трансформировать его в явное знание (карта, модель).

Распространенным, но не единственным, вариантом когнитивного подхода в геоинформатике является символический подход. Он использует языковую систему семантических символов (условные знаки, графические информационные единицы [2]) для дискретного представления

информации. Здесь следует подчеркнуть отличие использования семантических когнитивных символов от использования не семантических символов: цифр, операторов математической логики, логических переменных. Когнитивный подход позволяет проводить семантическое моделирование, чего не позволяет математическая логика и алгебраические вычисления.

Следует отметить, что в данном месте исследования мы пришли к новому понятию семантические когнитивные символы. Семантические когнитивные символы в отличие от сопоставимых семантических символов позволяют использовать опыт как неявное знание. Например, условные знаки являются сопоставимыми семантическими символами, поскольку при известном дескрипторе одинаково трактуются или интерпретируются разными специалистами в области картографии.

При анализе пространственной ситуации, например набережной реки и берега реки, двух близко расположенных домов, опытный картограф сдвигает набережную от берега и раздвигает дома, чтобы они не сливались в один ареал. Он совершает пространственное искажение для лучшей воспринимаемости и различимости пространственных объектов. Это типичный когнитивный процесс или типичное когнитивное моделирование, если оно включает несколько процессов. Другой опытный картограф поймет это правильно на основе использования своего когнитивного ресурса (опыта). Неопытный специалист, занимающийся дигитализацией карт, воспримет это буквально (отсутствие опыта как когнитивного ресурса) и задаст неверные пространственные координаты таким близко расположенным объектами на новой карте. Это проблему неоднократно озвучивал зав лабораторией института

географии И.В. Казанцев.

Более сложным направлением когнитологии (которое пока активно не применяется в геоинформатике) является коннекционизм (от связь англ). Это направление описывает когнитивную систему (рис.2) в виде сети взаимосвязанных элементов. Его развитием является построение когнитивных карт. Еще одним направлением когнитивного подхода является оперирование с семантикой информации [15, 34] и информационными семантическими единицами [33].

Когнитивный подход в геоинформатике взаимодействует с исследованиями в области искусственного интеллекта и нейронауками. Однако в отличие от искусственного интеллекта его основу составляет ресурсный когнитивный не формализуемый метод. Когнитивный подход является важной составной частью интеллектуального подхода, но их отождествление неправомерно. Это дает основание отметить различие информационных моделей [11], когнитивных моделей и интеллектуальных моделей [19, 21].

Информационная модель (Im) – формализованное отображение существующего объекта реальности с помощью системы взаимосвязанных, информационно определяемых параметров. Эти параметры отражают не только основные свойства и связи объекта моделирования, но и наиболее отношения между объектом и окружающей средой [11].

$$Im = F(A, C_n, Re) \quad (2)$$

В выражении (2) A – идентифицируемые, информационно определяемые параметры; C_n – существенные связи; Re – существенные отношения.

Информационная модель обеспечивает простое формализованное представление используемых данных и их взаимосвязей. Однако при ее составлении применяют когнитивный фактор

выбора (существенных или не существенных) параметров и связей и отношений. Таким образом можно констатировать, что в информационном моделировании когнитивный подход применяется неявно и он является обязательным условием информационного и геоинформационного моделирования. Информационная модель – обобщенное когнитивно понятие. На один объект, в зависимости от выбора когнитивного рассмотрения можно построить несколько информационных моделей.

Интеллектуальная модель (Intm) – целенаправленное отображение реальности с помощью совокупности взаимосвязанных параметров, связей, отношений, системы правил вывода, механизмов адаптации.

$$Intm = F(A, Cn, Re, Pr, Am) \quad (3)$$

В выражении (3): *A* – идентифицируемые, информационно определяемые параметры; *Cn* – существенные связи; *Re* – существенные отношения; *Pr* – правила вывода (продукции); *Am* – механизм внутренней адаптации и адаптации к внешней среде.

Информационная модель более простая, интеллектуальная модель более сложная. Однако обе они являются хорошо формализованными. Между ними находится когнитивная модель.

Когнитивная модель (Cim) – целенаправленное формализованное отображение ситуации или совокупности объектов с помощью системы взаимосвязанных, идентифицируемых, полностью и частично информационно определяемых параметров, отражающая наиболее существенные связи и отношения и включающая механизм когнитивного анализа реальности субъектом. Отличие *Cim* от *Im* и *Intm* в дополнительных параметрах: «частично информационно определяемых параметров» и «механизме когнитивного анализа реальности субъектом». Формальное описание когнитивной модели дано в выражении

(4)

$$Cim = F(AI, ANI, Cn, Re, Cm) \quad (4)$$

В выражении (4): *AI* – идентифицируемые, информационно определяемые параметры; *ANI* – идентифицируемые, информационно не определяемые параметры; *Cn* – существенные связи; *Re* – существенные отношения; *Cm* – механизм когнитивного анализа реальности субъектом.

Когнитивная модель (4) занимает промежуточное положение между информационной моделью (2) и интеллектуальной моделью (2). Она включает информационно не определяемые параметры (опыт, неявную информацию), – плохо структурированную информацию. Когнитивная модель включает механизм когнитивного взаимодействия, который является не формализуемым аналогом правила вывода и механизма адаптации к внешней среде в интеллектуальной модели. Когнитивная модель включает ориентированную на субъекта не формализуемую часть и формализуемую часть, ориентированную на компьютерную обработку.

Общим для трех моделей (2, 3, 4) является применение информационных единиц [9, 27, 29], как основы построения любой модели. Когнитивная модель в отличие от *Im* и *Intm* является плохо формализованной.

Когнитивная информационная модель включает разные уровни описания: предметный, системный и интерфейсный. Предметный уровень описания связан с предметной областью применения модели. Для геоинформатики это область геоинформатики, геодезии, картографии фотограмметрии и дистанционного зондирования. Этот уровень описания не зависит от ситуации исследований и информационного поля исследований. Он описывает информационную ситуацию [24].

Системный уровень описания связан с объектом исследования как со сложной системой. Он, в первую очередь, определяется характеристиками свойств объекта исследований и степенью системности когнитивной системы (рис.2): объекты связи отношения.

Интерфейсный уровень описания связан с механизмом взаимодействия между субъектом и объектом. Он существенно зависит от языка, который используется для описания [28]. Этот уровень во многом определяет результаты применения когнитивной информационной модели. Однако эта особенность приводит к субъективности такого подхода в отличие от применения интеллектуальных моделей [17].

При когнитивном подходе данные из внешнего мира воспринимаются человеком с помощью органов чувств и затем помещаются в буфер кратковременной памяти для анализа. В другой области памяти (долговременной) хранятся символы и смысловые связи между ними, которые используются для объяснения новой информации, поступающей из кратковременной памяти. В долговременной памяти хранятся не столько факты и данные, сколько объекты и связи между ними, т.е. символные образы. Большие объемы данных постоянно записываются в кратковременную память, и субъект анализирует получаемую информацию для того, чтобы определить степень ее важности и то, как она соотносится с образами, хранящимися в долговременной памяти.

При исследовании произвольной пространственной ситуации в геоинформатике человек создает ее когнитивную систему, которая должна отвечать основным свойствам, входящим в свойств свойств. Поскольку образность является когнитивным свойством человека, то существует аналогия между пространственными моделями [31] и когнитивными

моделями. Отсюда свойства когнитивных моделей тесно связаны с восприятием информации как пространственного образа. Отметим четыре основных свойства, общие для когнитивных и пространственных моделей.

Обозримость – свойство когнитивной и пространственной модели, состоящее в том, что человек в состоянии обозреть совокупность параметров и связей, входящих в объект исследования, как единое целое. Если объект не обозрим, то либо исследуется его часть, которая обозрима, либо анализ прекращается [31]. Если объект не обозрим, то невозможно построить целостную когнитивную систему (рис.2).

Воспринимаемость – свойство когнитивной и пространственной модели, состоящее в том, что человек в состоянии воспринять данную модель как отражение объективной реальности [31]. Если модель не обозрима или не воспринимаема, она, как правило, отвергается и не применяется человеком. Наличие информационной асимметрии между руководителями и исполнителями приводит к тому, что руководители чаще отвергают новую модель, которая им не понятна. Для пространственной модели это свойство может быть объективным на основе сравнения обозримых параметров и параметров обработки. Если число и качество параметров модели меньше, чем число и качество обрабатываемых параметров на компьютере, то пространственная модель обозрима. Для когнитивной модели сравнение производится с когнитивными возможностями человека.

Понимаемость – свойство когнитивной и пространственной модели, состоящее в том, что субъект или система в состоянии понять данную модель по ее свойствам, функциям, назначению и цели применения. Если модель не понимаема она, как правило, отвергается и не применяется

человеком.

Интерпретируемость – свойство когнитивной и пространственной модели, состоящее в том, что субъект может не только понимать, но и интерпретировать модель и ее поведение с помощью средств, находящихся в его распоряжении [31]. Интерпретируемость подразумевает возможность вариации параметров в области интерпретируемости. Интерпретируемость существенно зависит от когнитивного ресурса исследователя.

Дискуссия

Существует различие между некоторыми тенденциями когнитологии и геоинформатики. Когнитивная лингвистика известна как наука, изучающая способы получения, обработки, хранения и использования вербализованных знаний. Геоинформатика является наука, изучающая способы получения, обработки, хранения и использования визуальных и пространственных знаний.

Существует различие между некоторыми когнитивными операциями в когнитологии и геоинформатике. В когнитивной лингвистике, разработанном Р. Ленекером [23] – одним из базовых постулатов является то, что значение выражения не сводится к активируемому им содержанию. В геоинформатике наоборот.

В когнитивной лингвистике содержание есть видимая сцена (visual scene), а интерпретация – особый способ её видения [3]. То, как мы видим, зависит от: (i) того, что мы выбрали взглядом; (ii) того, откуда мы смотрим; (iii) нашей внимательности; (iv) тех элементов, на которые мы обращаем особое внимание. Соответствующими названиями для широких классов, включающих связанные с интерпретацией феномены, являются: (i) фокусировка – focusing; (ii) перспективизация – perspective; (iii)

спецификация – specificity; (iv) высвечивание – prominence. Далее порядок описания операций соответствует их порядку в работе [23]

В геоинформатике этому соответствует полная аналогия. В геоинформатике содержание есть видимая сцена (карта, снимок). В геоинформатике интерпретация – особый способ видения и трактовки сцены. Ситуация (снимок) зависит от: (i) сектора обзора; (ii) от точки фотографирования; (iii) от разрешающей способности фотоматериала или цифрового снимка; (iv) от дешифрирования снимка.

В когнитологии применяют понятие «связь с референциальной точкой» (reference point relationship). Эта связь заключается в том, что для активации понятия об одной сущности мы должны сначала активировать понятие о другой сущности, которая и является «референциальной точкой». Через неё мы получаем доступ к «целевой сущности» или цели (target).

В фотограмметрии и геоинформатике применяют понятия «точки соответствия на снимках». Связь между плоскими моделями (снимки) дает возможность активировать понятие о другой сущности трехмерной модели, которая является целевой сущностью в геоинформатике и фотограмметрии.

Заключение

Когнитивная модель является относительно новым понятием в геоинформатике. Взаимодействие наук о Земле и когнитологии дает новый шаг к интеграции наук и новый шаг в геоинформационном моделировании. Применение когнитивной модели в геоинформатике расширяет возможности исследования окружающего мира. Когнитивная модель эффективна только при наличии опыта работ субъекта в данной области. Она применяется при обработке слабоструктурированной информации.

Когнитивная модель дополняет другие модели : информационную и интеллектуальную. Все три модели являются инструментом исследования окружающего мира. Общим для трех моделей является применение информационных единиц. Когнитивные и пространственные модели, применяемые в геоинформатике, имеют общие черты. Это дает возможность более эффективно применять методы когнитологии в геоинформатике. Существуют четыре основных свойства, общие для когнитивных и пространственных моделей: обозримость, воспринимаемость, понимаемость, интерпретируемость. Когнитивная модель способствует развитию интеллектуальных моделей и исследованиям в области искусственного интеллекта. Когнитивная модель способствует применению интеллектуальных технологий в геоинформатике.

Литература / Reference

1. Григорьев Э. А. Когнитивная роль интуитивных гипотез и визуального образа моделируемой реальности // CASC'2001. С. 5–16. / Grigoriev E. A. Cognitive role of intuitive hypotheses and the visual image of simulated reality // CASC'2001. S. 5–16.
2. Докукин П. А. Графические информационные единицы // Перспективы науки и образования. - 2015. - №3. - с.32-39. / Dokukin P. A. Graphic information units // Prospects for science and education. - 2015. - No. 3. - p. 32-39.
3. Жаботинская С.А. Модели репрезентации знаний в контексте различных школ когнитивной лингвистики: интегративный подход // Когнитивные исследования языка. Вып. III. Типы знаний и проблемы их классификации: Сб. науч. трудов / Ред. Е.С. Кубрякова, Н.Н. Болдырев. – М.-Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина, 2008. – С. 61-74 / Jabotinskaya S.A. Representation models of knowledge in the context of various schools of cognitive linguistics: an integrative approach // Cognitive language studies. Vol. Sh. Types of knowledge and problems of their classification: Sat. scientific Proceedings / Ed. E.S. Kubryakova, N.N. Boldyrev. - M.-Tambov: TSU them. G.R. Derzhavina, 2008. -- S. 61-74
4. Кудж С.А. Когнитивные модели и моделирование: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 112 с / Kuj S.A. Cognitive models and modeling: Monograph. - M.: MAX Press, 2017. -- 112 s.
5. Кудж С.А. Оценка групповой когнитивной сложности // Славянский форум. -2018. – 2(20). - с.36-43 / Kuj S.A. Assessment of group cognitive complexity // Slavic forum. -2018. - 2 (20). - p. 36-43
6. Майоров А.А. Пространственное когнитивное моделирование // Перспективы науки и образования- 2014. - №1. – с33-37 / Mayorov A.A. Spatial cognitive modeling // Prospects for science and education- 2014. - No. 1. - s33-37 /
7. Максудова Л.Г., Савиных В.П., Цветков В.Я. Интеграция наук об окружающем мире в геоинформатике // Исследование Земли из космоса. - 2000.- №1. - с.46-50. / Maksudova L.G., Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya. Integration of environmental sciences in geoinformatics // Earth exploration from space. - 2000.- No. 1. - p. 46-50.
8. Сигов А. С., Цветков В.Я. Неявное знание: оппозиционный логический анализ и типологизация // Вестник Российской Академии Наук, 2015, том 85, № 9, - с.800–804 / Sigov A. S., Tsvetkov V.Ya. Implicit knowledge: oppositional logical analysis and typologization // Bulletin of the Russian Academy of Sciences, 2015, Volume 85, No. 9, - p. 800–804
9. Цветков В. Я. Семантика информационных единиц // Успехи современного естествознания. - 2007. - №10.- с.103-104 / Tsvetkov V. Ya. Semantics of information units // Successes in modern natural sciences. - 2007. - №10.- p. 103-104
10. Цветков В.Я. Информационная неопределенность и определенность в науках об информации // Информационные технологии. - 2015. - №1. -с.3-7. / Tsvetkov V.Ya. Information uncertainty and certainty in the sciences of information // Information Technologies. - 2015. - No. 1. -s. 3-7.
11. Цветков В.Я. Информационные модели объектов, процессов и ситуаций // Дистанционное и виртуальное обучение-2014. – 5(83). - с.4- 11. / Tsvetkov V.Ya. Information models of objects, processes and situations // Distance and virtual learning-2014. – 5(83). - s.4- 11.

- situations // Distance and virtual learning - 2014. - 5 (83). - p. 4-11.
12. Цветков В.Я. Когнитивность принятия решений // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - № 11-3. - с557-557 / Tsvetkov V.Ya. Cognitive Decision Making // International Journal of Applied and Fundamental Research. - 2016. - No. 11-3. - s557-557
 13. Цветков В.Я. Когнитивные аспекты построения виртуальных образовательных моделей // Перспективы науки и образования. - 2013. - №3. - с.38-46. / Tsvetkov V.Ya. Cognitive aspects of building virtual educational models // Prospects for science and education. - 2013.-№3. - p. 38-46.
 14. Цветков В.Я. Когнитивные технологии // Информационные технологии. - 2017. - 2(23). -с.90-96. / Tsvetkov V.Ya. Cognitive technology // Information technology. - 2017.-- 2 (23). -S. 90-96.
 15. Чехарин Е.Е. Информационная модель семантического окружения // Перспективы науки и образования- 2014. - №4. - с.20-24 / Chekharin E.E. The information model of the semantic environment // Prospects for science and education- 2014. - No. 4. - p.20-24
 16. Чехарин Е.Е. Когнитивное моделирование как метод устранения семантического разрыва // Образовательные ресурсы и технологии. - 2016. - 1 (13). - с.103-109 / Chekharin E.E. Cognitive modeling as a method of eliminating the semantic gap // Educational resources and technologies. - 2016.-- 1 (13). - p. 103-109
 17. Clark R. M. Intelligence analysis: a target-centric approach. - Washington, DC : CQ press, 2004. - p.16.
 18. Duval R. A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics //Educational studies in mathematics. - 2006. - Т. 61. - №. 1-2. - p.103-131.
 19. Eysenck H. J. (ed.). A model for intelligence. - Springer Science & Business Media, 2012.
 20. Fischer F. VGI as big data //GeoInformatics. - 2012. - Т. 15. - №. 3. - С. 46.
 21. Gordon T. F. The pleadings game: An artificial intelligence model of procedural justice. - Springer Science & Business Media, 2013.
 22. Karimi H. A. Big Data: techniques and technologies in geoinformatics. - Crc Press, 2014.
 23. Langacker, R.W. A course in cognitive grammar. Manuscript. Preliminary draft. - San Diego: UCSD, 2000
 24. Markelov V. M. Situational Modeling in Logistics // European Journal of Economic Studies, 2013, Vol.(6), № 4- p204-209
 25. Miller, G. A. The cognitive revolution: a historical perspective. // Trends in Cognitive Sciences, 2003, 7, p.141-144.
 26. Odošić D., Medak D., Miler M. Gamification of geographic data collection. - 2013.
 27. Ozhereleva T. A. Systematics for information units // European Researcher. 2014, № 11/1 (86), p. 1894-1900.
 28. Souchon N., Vanderdonckt J. A review of XML-compliant user interface description languages //Interactive Systems. Design, Specification, and Verification. - Springer Berlin Heidelberg, 2003. - p.377-391.
 29. Tsvetkov V. Ya. Information Units as the Elements of Complex Models // Nanotechnology Research and Practice. - 2014, № 1(1), p.57-64
 30. Tsvetkov V. Ya. Information interaction // European researcher. 2013. № 11-1 (62). С. 2573-2577
 31. Tsvetkov V. Ya. Spatial Information Models // European researcher. 2013. №10-1(60). с.2386-2392
 32. V. Ya. Tsvetkov. The Cognitive Modeling with the Use of Spatial Information // European Journal of Technology and Design. - 2015, 4(10), p. 149-158
 33. V. Ya. Tsvetkov. Semantic Information Units as L. Floridi's Ideas Development // European Researcher, 2012, 7 (25), p.1036- 1041
 34. V. Ya. Tsvetkov. Semantic environment of information units // European researcher. 2014, № 6-1 (76). p. 1059-1065
 35. Varela F. J., Thompson E., Rosch E. The embodied mind: Cognitive science and human experience. - MIT press, 2017.



COGNITIVE MODELING IN GEOINFORMATICS

Dyushlenko S.G.

Federal Research Center Research Institute for System Studies of the RAS (NIISI RAS), Russia

E-mail: dishlenko@yandex.ru

Abstract. *The article describes cognitive models in geoinformatics. The paper compares cognitive information collection and technical information collection using measuring devices. Technical gathering information measures point by point. The field of study includes an object in this technology. Cognitive information is collected in a spatial domain. The field of study includes the spatial situation with a set of objects in this technology. The result of the collection during measurements is a set of quantitative values of the parameters. The result of a cognitive collection is a cognitive system or a quality system - the prototype of an integrated complex system. The article introduces the concept of cognitive information interaction. Cognitive methods reduce information uncertainty and unstructured information. This is achieved through cognitive recursive or cognitive cyclic interaction. Cognitive modeling methods are close to the theory of fuzzy sets. Application of methods due to vagueness and information uncertainty. In the theory of fuzzy sets, information uncertainty is a fatal characteristic. It is analyzed by statistical analysis and special soft computing methods. The results of applying the theory of fuzzy sets are probabilistic in nature. Cognitive methods reduce information uncertainty due to cognitive resource. Different subjects reduce information uncertainty in varying degrees. In principle, information uncertainty can be completely eliminated through recursive and iterative methods of cognitive modeling. The technique of cognitive modeling in geoinformatics is the adaptation and application of cognitive models for solving geoinformatics problems, including cartography. The article describes an informational approach to cognitive science. The article reveals the content of a cognitive approach in geoinformatics. The article reveals the content of the information and intellectual model. The article introduces the concept of a cognitive model. The article proves that the cognitive model complements the information and intellectual model in the general complex of knowledge of the surrounding world.*

Keywords: *geoinformatics, models, cognitive science, information models, cognitive models, intellectual models, cognitive approach, cognitive modeling.*

© Дышленко С.Г., 2020

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЛОГИКА В ГЕОИНФОРМАТИКЕ

Цветков В.Я.

Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (НИИАС), Россия

E-mail: cvj2@mail.ru

Аннотация. Статья проводит исследование пространственной логики в геоинформатике как средства анализа и средства получения новых знаний. Пространственная логика основывается на логических рассуждениях и пространственном анализе. Пространственная логика является основой пространственных рассуждений. Пространственная логика, как и многие логики, имеет свой язык. Пространственная логика ближе к модальной логике, чем к логике первого порядка. Язык пространственной логики, в отличие от языка математической логики допускает неоднозначность и может содержать противоречия. Пространственная логика имеет много областей применения, которые качественно различаются. Например, образное мышление, топология, теория множеств, поддержки принятия решений, картография. Статья дает анализ содержания пространственной логики. Показано различие между математической логикой и пространственной логикой. Статья описывает виды пространственной логики: геометрическую логику, топологическую логику, теоретико-множественную логику, образную логику. Анализ образной логики дается в основном на примере картографической логики. Статья описывает качественные пространственные рассуждения, основой которых являются пространственная логика. Показаны факторы эффективности пространственной логики и технологий образных рассуждений. Описана проектная логика как разновидность образной логики. рассмотрены информационные единицы проектирования. Описан язык пространственной агрегации как средство выражения пространственных отношений в логике. Пространственная логика в общем является инструментом искусственного интеллекта и служит основой получения знаний.

Ключевые слова: логика, пространственная логика, геометрическая логика, топологическая логика, образная логика, пространственные рассуждения, пространственный анализ, искусственный интеллект.

Введение

Формально пространственная логика (spatial logic) [11,23] направление в логике, связанное с пространственными рассуждениями. В аспект пространственного знания пространственная логика тесно связана качественными пространственными рассуждениями [10, 17, 25], с когнитивным моделированием, когнитивной графикой и с визуальным моделированием. Построение когнитивных карт также входит в область пространственной логики. В настоящее время практика применения пространственной логики значительно шире по сравнению с ее логической трактовкой. Пространственная логика еще в дохристианскую эру применялась в архитектуре и продолжает применяться в настоящее время. Пространственная логика применяется в ландшафтном проектировании [27]. Этот вид логики применяется в системах

информационной безопасности [18]. Пространственная логика применяется при извлечении пространственных знаний геознаний и анализе онтологий [26]. Пространственная логика применяется в параллельных вычислениях [14]. Пространственная логика применяется при организации графиков запросов к базе данных [16]. Пространственную логику применяют при анализе структуры иерархических моделей [15]. Пространственную логику применяют при анализе схем технического зрения [19]. Пространственная логика в сочетании с лингвистикой применяется для описания визуальных языков [21]. Пространственную логику применяют при составлении карт и обработки информации с помощью ГИС. Пространственная логика как часть пространственного мышления используется в психологии [24]. Пространственная логика, как любая

логика, иметь свой формальный язык [11]. Причем таких языков может быть много, что обусловлено выбором базовых образов языка. Обычно языком пространственной логики называют формальный язык [11], интерпретируемый над классом структур, представляющих реальные объекты, геометрические объекты и пространственные отношения. В языке пространственной логики используют логический синтаксис. Структуры, с которыми оперирует язык пространственной логики, могут находиться в разных классах пространств: геометрическом пространстве, топологическом пространстве, проективном пространстве, в Эвклидовом пространстве, в когнитивном пространстве. Пространственных языков может быть много, как видов пространственных логик. Поэтому пространственная логика должна, в общем, рассматриваться как семейство пространственных логик. Геоинформатика работает с пространственными образами и в ней применяют пространственную логику.

Пространственная логика в геоинформатике включает следующие области: логика пространственной ситуации, логика пространственных моделей, геометрическая логика, топологическая логика, теоретико-множественная логика, когнитивная логика, логика пространственного проектирования, логика технического зрения [19] и логика пространственных знаний, логика искусственного интеллекта [6]. Общим для семейства пространственных логик является зависимость конструирования действительности зависит от базовой геометрии логических структур и аксиом. Пространственная логика применяется в образовании, где она сопрягается с когнитивными моделями. Пространственная логика применяется в виртуальном моделировании, где опирается на логику поведения в

реальном пространстве. для пространственной логики существует понятие сложности и порог логической сложности. Обобщая применение пространственной логики, следует отметить ее значение для методов искусственного интеллекта, поскольку она позволяет моделировать рассуждения, которые можно использовать в интеллектуальных системах.

Основные виды пространственной логики в геоинформатике

Геометрическая логика. Геометрическая логика является базовой в геоинформатике, поскольку на ее основе моделируется реальность и создают модели обладающие сходством и подобием с реальными пространственными объектами. В аспекте пространственного знания геометрическая логика в геоинформатике раскрывает морфологическую сторону пространственного знания и связана с морфологией объектов. Геометрическая логика в геоинформатике включает следующие компоненты: определения; постулаты; и теоремы; целевые утверждения (задачи), которые требуется доказать или построить, используя некоторый стандартный механизм геометрического вывода. Следует подчеркнуть, что в геометрической логике геометрический вывод и есть логический вывод.

При этом разделяют прямой и обратный геометрический (логический) вывод. Прямой логико-геометрический вывод применяют при построении сложных моделей на основе более простых. Примером является построение карты. Обратный логико-геометрический вывод применяют при автоматизированной обработке изображений и при решении задач распознавания объектов

Логика плоской геометрии Евклида не допускает пересечения параллельных прямых. В этой

геометрии треугольник на плоскости всегда имеет сумму внутренних углов равную только π . Это область крупномасштабного картографирования.

Логика сферической геометрии исключает понятие прямой линии (меридианы, параллели) и включает понятие геодезической линии. Логика геометрии на сфере допускает пресечение параллельных линий. Логика геометрии на сфере допускает сумму внутренних углов равную $3/2 \pi$

Таким образом, геометрическая логика в геоинформатике задается базовыми аксиомами и постулатами и может различаться для разных геометрий. Геометрическая логика является основой фотограмметрических и геодезических построений, особенно в при решении прямой и обратной засечки. По это причине геометрическая логика применяется также в геодезии и фотограмметрии.

Топологическая логика.

Топологическая логика применяется в геоинформатике и картографии. Само по себе понятие «топология» можно интерпретировать как «логика места». Топологическая логика является видом пространственной логики. Она использует логические аксиомы: топологическая инвариантность (рис.1), пересечение, отсутствие пересечения. Топологическая логика использует топологические свойства объектов, наличие которых означает «истину», отсутствие «ложь».



Рис.1. Логическая корректность в топологии. Топологические инварианты

Между фигурами на рис.1 существует отношение эквивалентности в соответствии с топологической логикой. Их можно рассматривать как эквивалентные фигуры. В математической логике они

являются тавтологиями. На рис.2 приведены топологически корректные в геоинформатике и картографии и топологически не корректные образы. Изображение на рис.2 называют «спагетти». На нем не обозначены пересечения линий и концы линий выходят за границы.

Логика геоинформатики и картографии требует четкого указания наличия или отсутствия пересечений. Рис.2а представляет собой логическую неопределенность.

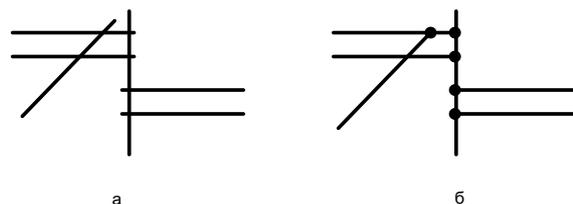


Рис.2. Топологически корректный б) и топологически некорректный а) пространственный образ

Ситуация, показанная, на рис.2а, возникает при автоматизированной векторизации. Она характеризуется нарушением комплементарности и топологических информационных соответствий [7]. Рисунок 2б является примером топологической корректности. Рисунок 2б характеризует исправления ошибок, которые содержит рисунок 2а. Введен наличие пересечения, обозначенное точками. Концы линий, выходящих за границы, обрезаны. Рисунок 2б можно рассматривать как логически корректный, с позиций топологической логики.

В отдельных случаях топологические модели могут трансформироваться в логические выражения. Например, ориентированная дуга соответствует импликации. Пересечение соответствует конъюнкции. Топологическая инвариантность соответствует эквивалентности или тавтологии. Это позволяет строить формальные логические последовательности, такая логика

применяется при проектировании интегральных схем. В топологической логике по топологическим схемам можно построить логические выражения их математической логике. Топологическая схема отображает пространственные отношения и пространственные связи, которые в отдельных случаях можно трансформировать в логические связи. В этом ценность топологической логики для геоинформатики. Топологическая логика в геоинформатике работает с векторными и ареальными моделями.

Теоретико-множественная логика. Теоретико-множественная логика применяется в геоинформатике при работе с геоинформационными системами, где она технически реализована в виде процедуры «оверлей». Теоретико-множественная логика применяется в геоинформатике при работе, в первую очередь, с ареальными моделями, со слоями (группами моделей) и реже с векторными моделями. Но при этом векторные модели рассматривают как линейные ареалы.

Теоретико-множественная логика является разновидностью пространственной логики. Это логика использует теоретико-множественные отношения как логические отношения между пространственными множествами. В теоретико-множественных схемах отображают отношения, в отличие от связей в топологии. Формальными выражениями, или теоретико-множественному языку, ставят в соответствие пространственные отношения пространственных абстрактных образов. Наиболее яркими моделями являются диаграммы Эйлера – Вена.

Это дает основание утверждать, что в геоинформатике теоретико-множественная логика дополняет топологическую логику, а совокупности они позволяют работать с пространственными связями и пространственными отношениями.

Образная логика. Образная логика в геоинформатике оперирует с пространственными образами, которые содержат семантику. По существу образная пространственная логика в геоинформатике выполняет функции семантического моделирования. Образная логика включает информационные образные единицы [30] и аксиоматические знания о стереотипных пространственных объектах и их свойствах (семантика). Примером таких образов являются условные знаки на картах и единицы пространственной агрегации. Образная логика применяется в геоинформатике и картографии. Наиболее ярким разделом образной логики является картографическая логика. Формально образная логика это логика семантики и стереотипов.

Картографическая логика. Картографическая логика конструктивно сходна с топологической и образной логикой. Она стоит на основе определенных аксиом и стандартизованных информационных единиц – условных знаков. Однако картографическая логика не всеми рассматривается как раздел пространственной логики. Начиная с 1908 года (логика карт) [20] по 2010 год (картографическая логика) [2] и по настоящее время под логикой карт понимают только правила построения карт и чтения карт, но не говорят об языке логики. Логикой карт (но не картографической логикой) также называют [20] применение обычной логики для построения и анализа пространственных картографических образов. И, наоборот, в картографии введено понятие язык карт [5], но в отрыве от картографической логики. Поэтому картографическая логика до настоящего времени не сформирована как целостное направление.

Наиболее близкой к картографической логике является работа А.А. Лютого «язык карт» [5]. Особенность географических карт как

пространственных образов и пространственных моделей - использование информационного пространственного языка карт. Этот пространственный язык дает возможность: обзорности или обозримости; показа с преувеличением; показа динамики явлений, не воспринимаемых непосредственно органами чувств (например, магнитное склонение, аномалии силы тяжести и т. п.), показа пространственных отношений, например, между источниками сырья и предприятиями по его переработке.

Бертран Рассел так трактовал природу пространственных образов: «Существует сложность в отношении языка как метода представления системы, а именно того, что слова, которые означают отношения, сами по себе не являются отношениями. Графический образ карты превосходит язык, поскольку тот факт, что одно место находится к западу от другого, представлен тем фактом, что соответствующее место на карте находится слева от другого, то есть фактическое отношение представлено пространственным отношением» [13, с. 152]. Это весьма близко соответствует концепциям пространственной логики, которая в его время еще не возникла.

Особенностью некоторых пространственных языков является их множественность представления, что создает логическую неоднозначность. Ситуация множественности построений приводит к возникновению логических ошибок в интерпретации картографических образов. Лютый выделяет четыре типа ошибок [5]. Эти ошибки характерны не только для картографии, но и для всей образной логики.

К первому типу относятся ошибки «сходство-различие». Эти ошибки обусловлены применением графических единиц разного семиотического типа, которые создают близкие по виду итоговые образные

конструкции. Они обнаруживаются только на уровне анализа отдельно взятых легенд и карт (рис.3) [5]

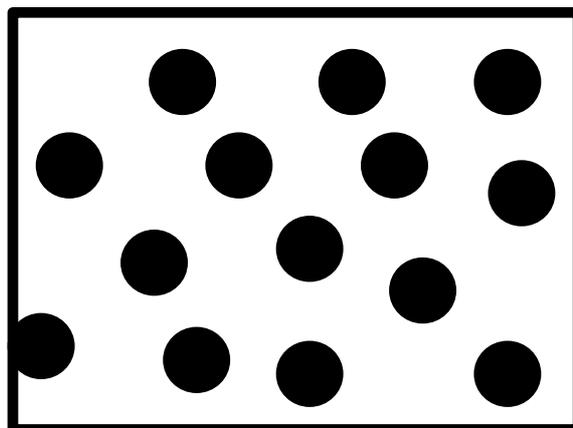


Рис.3. Двойственность интерпретации пространственного образа

Пространственная модель на рис.3 может интерпретироваться двояко.

1. Это ареал, на котором находятся одиночные объекты. такая интерпретация - каждая точка отдельный объект и эти объекты плотно расположены. Эта трактовка описывает множество объектов или неоднородный ареал.

2. Рис.3 -это ареал с условным обозначением покрытия - точечное заполнение. Это однородный ареал, семантическое содержание которого обозначается точками. Эта трактовка описывает один объект.

Ко второму типу пространственных логических ошибок отнесены ошибки, которые возникают вследствие некорректного размещения знаков в поле (картографического) изображения. Эти ошибки приводит к появлению ложных знаковых композиций и отношений, а также к эффектам «поглощения» одних знаков другими. К этой группе относятся ошибки смысловой неопределенности и дублирования информации.

К третьей группе А.А. Лютый относит (логические) ошибки в системах знаков, обусловленные ошибками в классификациях пространственных объектов. К четвертому типу отнесены ошибки оформления и построения

картографических шкал. Первые три типа ошибок характерны для образной логики в целом.

Разделом образной логики является проектная логика. *Проектная логика* или логика построения проектов (схем, чертежей, карт). Эта логика используется при автоматизированном проектировании (САПР) и в ГИС при проектировании электронных карт. Эта логика используется в геоинформационных системах при построении и редактировании пространственных моделей [31]. Эта логика используется при анализе и получении пространственных знаний.

Проектная логика имеет свои языки, которые чаще являются языками графических примитивов, то есть базисных графических информационных единиц [1], из которых строят сложные информационные единицы и модели пространственных объектов (рис.4).

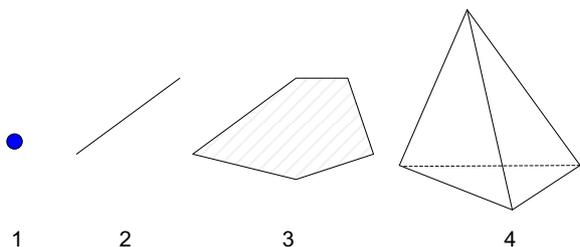


Рис.4. Графические информационные единицы – основа построения пространственных образов

При анализе пространственных отношений используют язык пространственной агрегации [10,12]. Этот язык связан с пространственной образной логикой. На рис.5 приведены логические информационные единицы, выражающие пространственные отношения [10, 12].

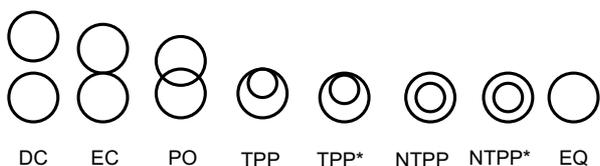


Рис.5. Логические единицы пространственных отношений

На рис.5 имеются следующие обозначения, принятые в языке пространственной агрегации. Они используются как логические информационные единицы, отражающие пространственные отношения двух объектов. Интерпретацию даем слева направо. Отсутствие взаимодействия - DC. Взаимодействие общая граница - EC. Частичное перекрытие - PO. Тангенциально правильное взаимодействие TRP. Инверсное тангенциально взаимодействие - TRP*. Объект внутренний не взаимодействует тангенциально с объектом внешним - NTRP. Объект внешний не взаимодействует тангенциально с объектом внутренним - NTRP*. Объекты эквивалентны – EQ.

Язык пространственной агрегации SAL позволяет пользователям изучать спецификации пространственных знаний, такие как отношения соседства и предикаты эквивалентности, а также интерактивно и графически изучать и изменять результаты. Этот язык является одним из многих языков информатики [9]. Исходный набор SAL можно загрузить с сайта www.cs.purdue.edu/homes/cbk/sal.html или www.parc.com/zhao/sal.html. Более широкий перечень логических единиц для выражения пространственных отношений дается в работе [4]

Наиболее частыми задачами в пространственной логике являются задачи верификации, идентификации, построения, редактирования. Логика образов может быть интерпретирована как комплементарность любых характеристик пространственных объектов или пространственных отношений.

Анализ состояния пространственной логики

В современном понимании пространственная логика близка более исследованной области модальной логике и темпоральной логике [22].

Значительный вклад в развитие пространственной логики путем анализа геометрии и ее логики внес Тарский [28, 29]. В частности, Тарский применил логику первого порядка с переменными, расположенными по точкам в евклидовой плоскости, и с нелогическими предикатами, обозначающими два примитивных пространственных отношения: троичное отношение «между» и четвертичное отношение «равно удаленности». Получившийся им язык достаточен, чтобы сформулировать большую часть евклидовой геометрии - например, теорему Пифагора.

В элементарной геометрии Тарского [29] переменные располагаются по совокупности точек на евклидовой плоскости. Это аналогично расположению, в его «Геометрии твердых тел» переменные располагаются по совокупности регулярных замкнутых подмножеств R^3 ; и в его модальном топологическом языке переменные располагаются по совокупности всех подмножеств некоторого топологического пространства. Тарский показал, что теория элементарной геометрии является разрешимой: существует логическая процедура для определения любого данного предложения на соответствующем языке, является ли это предложение истинным согласно рекламируемой интерпретации. Напротив, теория второго порядка, необходимая для выражения всех аксиом Гильберта, неразрешима.

Наиболее яркая черта современной логики - теоретико-модельный подход [3, 8]. Он ярко представлен в пространственной логике. Теоретико-модельный подход к логике в качестве основной проблемы часто использует разные отношения между математическими структурами и объектами. С этой точки зрения пространственная логика становится инструментом изучения двух видов пространственных отношений. Первый

вид пространственных отношений это отношения между геометрическими структурами и реальными пространственными объектами. Второй вид пространственных отношений это отношения между частями пространственного объекта или частями пространственной модели.

Развитию пространственной логики способствовали работы по автоматизации логического вывода и автоматизации распознавания образов. Однако чем сложнее образ, тем сложнее его обработка и построение. В этом развитии для пространственной логики появляется понятие сложности, которое необходимо учитывать и снижать. Отсюда возникает проблема связи трех категорий пространственного образа: информативности, сложности и когнитивной воспринимаемости. Эта триада пространственной логики является основной в современных приложениях.

Пространственная логика отличается от математической логики по трем критериям. Первый критерий связан с множеством языковых семантических описаний, которые приводят к множественной интерпретации (Лютый). Геометрически одинаковые графические образы могут означать разное содержание.

Второй критерий связан с выбором качественно разных базовых единиц описания. Это различие задает разные базовые отношения и разные операции над одинаковыми объектами. В этом критерии проявляются информационные единицы. В математической логике единицы логики только формальные. В пространственной логике используют формальные и семантические информационные единицы. При одинаковой образной формальности может быть разная семантика.

Третий критерий связан с введением неопределенности и модальности в логические

пространственные описания. Например, ситуация объект А ближе к объекту В, чем объект Б относится к области вероятностной логики и качественным рассуждениям.

Основой преобразований в математической логике являются тавтологии и эквивалентности. Инвариантность в пространственной логике это полный аналог эквивалентности или тавтологии в математической логике. Примером являются топологические инварианты. При этом многие отношения инвариантности могут точно соответствовать логике первого порядка.

В пространственной логике существует процедура генерализации (обобщения) и процедура детализация. Одна из главных проблем пространственной логики «генерализация – детализация» или «простота – сложность». Анализ сложности пространственных логических моделей обычно фокусируется на двух проблемах: проверка модели (определение того, является ли данная модель истинной в интерпретации соответствующего ей объекта) и проверка реализуемости данной модели. Часто попытка описать пространственную модель словами обречена на неудачу по когнитивным или лингвистическим факторам. Это означает, что некоторые задачи пространственной логики непередаваемы лингвистическими средствами. И наоборот, описать любую сложную картину логическим языком не представляется возможным. Это создает проблему пространственной логики «выразительность – логичность».

Современная пространственная логика содержит ряд интересных проблем, которые еще не до конца понятны [11]. Общая методология в логическом обобщении состоит в том, чтобы найти выразительные пространственные модели, которые логически анализируемы. Обычные

методы анализа, которые работают с простыми моделями, часто оказываются бессильными, когда сталкиваются с языками, интерпретируемыми по определенным структурам, как это обычно имеет место в пространственной логике. При выразительности интерпретации следует отметить преимущества и эффективность пространственной логики. Ряд исследователей пытаются объяснить наблюдаемую «эффективность» образных рассуждений (ОР) с помощью понятий «ограниченная абстракция» и невыразительность.

Формальный анализ схем образного представления представляет собой растущую область исследований, которая обещает полезные приложения в таких областях, как пространственные знания и визуальное программирование. Однако применяемый формальный анализ образных представлений не всегда учитывает способы использования пространственных отношений в таком представлении.

Графические представления в пространственной логике, в отличие от аппарата математической логики, имеют ресурсы для выражения различных видов неопределенности. Основное различие между графической и лингвистической системами заключается в использовании отношений. Пространственные модели используют пространственные отношения для прямого их представления предметной области. В лингвистических системах слова используются для косвенного представления отношений и могут интерпретироваться по-разному, в зависимости от интеллекта интерпретатора.

Заключение

Пространственная логика широко применяется в геоинформатике. При этом большей частью она применяется неявно в виде неких эмпирических

правил. Пространственная логика также применяется в геодезии, фотограмметрии и картографии. В общем, пространственная логика пока находится в стадии развития и обобщения. Она характеризуется отсутствием единой теории и частных теорий применительно к различным направлениям. Общей концепцией, которую можно принять для многих пространственных логик, является концепция языка. Пространственная логика в конкретной области должна иметь свой логический язык. Отсутствие языка не дает основание говорить о логике. Второй концепцией, которая практически слабо реализуется – наличие информационных единиц или логических информационных единиц как алфавита языка. Любой язык имеет алфавит, который образуют информационные единицы. В математической логике такими единицами являются логические связи. В пространственных рассуждениях таким языком является, например, язык пространственной агрегации, содержащий информационные единицы пространственных отношений. Пространственные логики могут быть специализированными. Так теоретико-множественная логика отражает отношения, а топологическая логика отражает связи. Такие пространственные логики дополняют друг друга при работе с набором пространственных образов. Высокая эффективность пространственной логики обусловлена тем, что ее единицы содержат семантику, в то время как единицы математической логики семантику не содержат в таком же объеме. Семантика единиц пространственной логики обеспечивает выразительность представления. Эффективности пространственной логики заключается также в возможности средствами графических образов выражать пространственные отношения, которые лингвистически либо не выражаемы, либо выражаемы с

неопределенностью. Существующая проблема пространственной логики – противоречие между выразительностью и сложностью ее логического моделирования. Пока эта проблема решается когнитивными методами, а не формальными.

Литература / Reference

1. Докукин П.А. Графические информационные единицы // Перспективы науки и образования. - 2015. - №3. - с.32-39. / Dokukin P.A. Graphic Information Units // Prospects for Science and Education. - 2015. - No. 3. - p. 32-39.
2. Кравец Е. А. Картографическая логика (анализ вопросов состояния и охраны окружающей среды): монография - М.: Изд-во МИИГАиК, 2010.- 160с. / Kravets E. A. Cartographic logic (analysis of issues of state and environmental protection): monograph - M.: MIIGAiK Publishing House, 2010. - 160 p.
3. Кудж С.А., Цветков В.Я. Логика и алгоритмы: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2019. – 112 с. ISBN 978-5-317-06054-1 / Kuj S.A., Tsvetkov V.Ya. Logic and Algorithms: Monograph. - M.: MAX Press, 2019. -- 112 p. ISBN 978-5-317-06054-1
4. Кулагин В. П., Цветков В. Я. Геознание: представление и лингвистические аспекты // Информационные технологии. - 2013. - №12. - с.2-9. / Kulagin V. P., Tsvetkov V. Ya. Geoscience: representation and linguistic aspects // Information Technologies. - 2013. - No. 12. - p. 2-9.
5. Лютый А.А. Язык карты: сущность, система, функции. - 2-е изд. - М.: ГЕОС, 2002. - 327 с. / Lyuty A. Map language: essence, system, functions. - 2nd ed. - M.: GEOS, 2002. -- 327 p.
6. Миронов С. В., Юдин А. В. Система технического зрения в задачах навигации мобильных объектов // Программные продукты и системы. – 2011. – №. 1. – с.10-16 / Mironov S. V., Yudin A. V. System of technical vision in the problems of navigation of mobile objects // Software products and systems. - 2011. - No. 1. - p.10-16
7. Розенберг И.Н. Сложность и комплементарность // Перспективы

- науки и образования. - 2016. - №5. - с.7-10. / Rosenberg I.N. Complexity and complementarity // Prospects for science and education. - 2016. - No. 5. - p. 7-10.
8. Фреге. Г. Логика и логическая семантика. Сб. трудов. -М. Аспект Пресс, 2000. -512с. / Frege. G Logic and logical semantics. Sat labor. -M. Aspect Press, 2000. -512s.
 9. Цветков В. Я. Язык информатики // Успехи современного естествознания. - 2014.- №7. - с.129-133 / Tsvetkov V. Ya. Language of informatics // Successes of modern natural science. - 2014.- No. 7. - p. 129-133
 10. Цветков В.Я. Качественные пространственные рассуждения: Монография. - М.: МАКС Пресс, 2017. - 60с. ISBN 978-5-317-05604 / Tsvetkov V.Ya. Qualitative spatial reasoning: Monograph. - M.: MAX Press, 2017. -- 60 s. ISBN 978-5-317-05604
 11. Aiello M., Pratt-Hartmann I., Van Benthem J. What is Spatial Logic? // Handbook of spatial logics. - Springer, Dordrecht, 2007. - p. 1-11
 12. Bailey-Kellogg, C., & Zhao, F. (2003). Qualitative spatial reasoning extracting and reasoning with spatial aggregates. *AI Magazine*, 24(4), 47
 13. Bertrand Russell. Vagueness. In John Slater, editor (1923) , *Essays on Language, Mind, and Matter 1919-26*, The Collected Papers of Bertrand Russell, pages 145 - 154. Unwin Hyman, London.
 14. Caires L., Cardelli L. A spatial logic for concurrency (part I) //Information and Computation. - 2003. - V.186. - №. 2. - C. 194-235.
 15. Calcagno C., Cardelli L., Gordon A. D. Deciding validity in a spatial logic for trees //ACM SIGPLAN Notices. - ACM, 2003. - V.38. - №. 3. - C. 62-73
 16. Cardelli L., Gardner P., Ghelli G. A spatial logic for querying graphs //International Colloquium on Automata, Languages, and Programming. - Springer, Berlin, Heidelberg, 2002. - C. 597-610.
 17. Cohn A. G. Qualitative spatial representation and reasoning techniques //Annual Conference on Artificial Intelligence. - Springer, Berlin, Heidelberg, 1997. - C. 1-30
 18. Collier S. J., Lakoff A. Distributed preparedness: the spatial logic of domestic security in the United States //Environment and planning D: Society and space. - 2008. - V.26. - №. 1. - C. 7-28.
 19. Del Bimbo A., Vicario E., Zingoni D. A spatial logic for symbolic description of image contents //Journal of Visual Languages & Computing. - 1994. - V.5. - №. 3. - C. 267-286.
 20. Eckert M., Joerg W. On the nature of maps and map logic //Bulletin of the American Geographical Society. - 1908. - V.40. - №. 6. - C. 344-351.
 21. Gooday J. M., Cohn A. G. Using spatial logic to describe visual languages //Integration of Natural Language and Vision Processing. - Springer, Dordrecht, 1996. - C. 171-186.
 22. Kontchakov R. et al. Spatial logic+ temporal logic=? //Handbook of spatial logics. - Springer, Dordrecht, 2007. - C. 497-564
 23. Lemon O., Pratt I. Spatial logic and the complexity of diagrammatic reasoning //Machine Graphics and Vision. - 1997. - V. 6. - №. 1. - p.89-108
 24. Lossau J. Pitfalls of (third) space: rethinking the ambivalent logic of spatial semantics //Communicating in the third space. - Routledge, 2008. - C. 76-92.
 25. Moratz, R., & Ragni, M. Qualitative spatial reasoning about relative point position. // Journal of Visual Languages & Computing, 2008, 19(1), 75-98
 26. Randell D. A., Cui Z., Cohn A. G. A spatial logic based on regions and connection //KR. - 1992. - V.92. - C. 165-176.
 27. Talen E. The spatial logic of parks //Journal of Urban Design. - 2010. - V.15. - №. 4. - C. 473-491.
 28. Tarski, Alfred (1956). Foundations of the geometry of solids. In *Logic, Semantics, and Metamathematics*, pages 24-29. Clarendon Press, Oxford.
 29. Tarski, Alfred (1959). What is Elementary Geometry? In Henkin, L., Suppes, P., and Tarski, A., editors, *The Axiomatic Method, with Special Reference to Geometry and Physics*, pages 16-29. North-Holland Publishing Co., Amsterdam.
 30. Tsvetkov V. Ya. Information Units as the Elements of Complex Models // Nanotechnology Research and Practice. - 2014, Vol.(1), № 1, p57-64
 31. Tsvetkov V. Ya. Spatial Information Models // European researcher. Series A. 2013. №10-1(60). c.2386-2392



SPATIAL LOGIC IN GEOINFORMATICS

Tsvetkov V.Ya.

Research and Design Institute of design information,
automation and communication on railway transport, Russia

E-mail: cvj2@mail.ru

Abstract. *The article explores spatial logic in geoinformatics as a means of analysis and a means of drawing conclusions. Spatial logic is based on logical reasoning and spatial analysis. Spatial logic is the basis for spatial reasoning. Spatial logic, like many logic, has its own language. Spatial logic is closer to modal logic than to first-order logic. The language of spatial logic, in contrast to the language of mathematical logic, is ambiguous and may contain contradictions. Spatial logic has many applications that are qualitatively different. These areas are: figurative thinking, topology, set theory, decision support, cartography. The article analyzes the contents of spatial logic. Paper describes the difference between mathematical logic and spatial logic. The article describes the types of spatial logic: geometric logic, topological logic, set-theoretic logic, figurative logic. The analysis of figurative logic is made on the example of cartographic logic and design logic. The article describes qualitative spatial reasoning, the basis of which is spatial logic. The article describes the factors of the effectiveness of spatial logic and technology imaginative reasoning. The paper reveals the content of project logic as a kind of figurative logic. This article describes the information design units. The language of spatial aggregation is described as a means of expressing spatial relations. Spatial logic is a tool of artificial intelligence and serves as the basis for obtaining knowledge.*

Keywords: *logic, spatial logic, geometric logic, topological logic, figurative logic, spatial reasoning, spatial analysis, artificial intelligence.*

© Цветков В.Я., 2020

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Андреева О.А.

АО «Транспутьстрой», Россия

E-mail: andreeva_olga@inbox.ru

Аннотация. Статья исследует новую технологию геоинформационного проектирования. Раскрываются основы трехмерного проектирования. Показана связь трехмерного моделирования и проектирования. Раскрываются основы трехмерного геоинформационного моделирования и трехмерного геоинформационного проектирования. Показано сходство между технологиями САПР и технологиями геоинформационного проектирования. Описан практический эксперимент по геоинформационному проектированию объектов транспортной инфраструктуры. Доказана возможность использования дополненной реальности при геоинформационном проектировании. Статья раскрывает содержание пространственных моделей как основы геоинформационного проектирования. Выполнен системный анализ геоинформационного проектирования. Описаны принципы трехмерного геоинформационного проектирования. Описана схема системного трехмерного геоинформационного проектирования. Статья доказывает, что геоинформационное проектирование является полной технологической системой.

Ключевые слова: геоинформатика, геоинформационное проектирование, геоинформационное моделирование, пространственные модели, цифровые модели, дополненная реальность, технологическая система, системность.

Введение

Геоинформационное проектирование - это процесс разработки проекта пространственной модели поверхности или объекта с помощью специализированного технологического обеспечения [1]. Трехмерный проект называют 3D-модель. Программное и технологическое обеспечение для 3D-моделирования - это класс программного обеспечения для компьютерной 3D-графики. Многие 3D проекты создают на основе стереопары снимков. Трехмерные 3D модели используют наборы точек в трехмерном пространстве, соединенных различными геометрическими объектами, такими как треугольники, линии, изогнутые поверхности и т. д. Геоинформационный проект можно рассматривать как систему геоданных [2], которую создают вручную (с помощью ГИС) или алгоритмически. Поверхности проектов могут быть выражены с помощью наложения паттернов. Геоинформационные проекты и 3D-модели широко

используются в самых разных областях. Проекты должны быть многофункциональными, чтобы иметь многоцелевое применение. Для представления поверхностей и проектирования на их основе применяют полигональные сетки. Эти модели являются полезным представлением для деформируемых поверхностей, которые подвергаются деформациям или изменениям. Процесс преобразования представлений объектов в многоугольное представление сферы, называется *тесселяцией*. Этот шаг используется при рендеринге на основе многоугольников, когда объекты разбиваются от абстрактных представлений к сетям взаимосвязанных треугольников. Сетки из треугольников (вместо, например, квадратов) популярны, поскольку доказано, что их легко представить как в растровой так и в линейной форме. Поверхность, описываемая каждым треугольником, плоская, поэтому совокупность всегда выпуклая [3]. Представления полигонов используются не во всех методах

рендеринга, и в этих случаях шаг тесселяции не включается в переход от абстрактного представления к визуализированной сцене.

Системный анализ геоинформационного проектирования

Системный анализ применяют, если объект исследования можно рассмотреть как целостную систему. Существует многообразие сложных систем: технологические [4], информационные [5], алгоритмические, технические [6] организационные [7], и другие. При всем многообразии систем для них допустим системный подход и системный анализ. Поэтому преобразование модели или технологии в сложную систему позволяет применять к ней системный анализ. Применение системного анализа для пространственных проектов используется [8] как метод устранения информационной неопределенности и создания целостности проекта. При проектировании могут быть выделены две системы: проект как сложная система; технология проектирования как сложная система.

Известна методология системного проектирования SAP Project System (PS) [9]- это программный инструмент управления проектами, который интегрируется с другими компонентами системы SAP Enterprise Resource Planning (SAP ERP). Этот инструмент является локальным функциональным модулем или компонентом системы SAP ERP. Он позволяет контролировать каждый этап проекта для обеспечения качества проекта. Существует понятие системное проектирование [10]. Оно представляет собой - это процесс определения архитектуры, модулей, интерфейсов и данных для системы, удовлетворяющей определенным требованиям. системное проектирование можно рассматривать как приложение теории систем к разработке продуктов. Существует некоторое совпадение с дисциплинами

системного анализа, системной архитектуры и системного проектирования [11]

Системный анализ геоинформационных проектов включает анализ структуры, анализ процессов проектирования и анализ пространственной модели. Последний вид анализа является специфическим и не встречается в других видах системного анализа. Разработка геоинформационного проекта включает этап системного анализа модели местности. Это помогает создать модель пространственной основы, предшествующую созданию самого проекта. Существует несколько разных подходов к системному анализу структуры. Системный анализ включает анализ технико-экономического обоснования: определение, является ли проект экономически выгодным и технологически осуществимым.

При системном анализе необходимо определить, как пользователи геоинформационного проекта будут управлять и контролировать его в ходе эксплуатации. Варианты использования - это широко используемые инструменты моделирования системного анализа для определения и выражения функциональных требований к объекту. Каждый вариант использования представляет собой бизнес-сценарий или событие, для которого проект должен предоставить определенный ответ. Варианты использования, разработанные на основе системного анализа применяют при проектировании. Другим базовым аспектом анализа является установление связи и координации работы между проектом и натурой.

Если рассматривать геоинформационное проектирование как систему, то она относится к классу сложных технологических систем. Если рассматривать геоинформационный проект как систему, то он относится к классу

сложных информационных систем. С позиций системного анализа геоинформационный проект состоит подсистем P_i проекта P . Это отражается в виде теоретико-множественного отношения

$$P1 \cup P2 \cup P_i \cup P_k = P \quad (1).$$

В выражении (1) P_i – подсистемы проекта, P проект. Условно можно выделить следующие подсистемы: $P1$ картографическая модель как основа выноса проекта в натуру; $P2$ – пространственная модель рельефа; $P3$ – пространственная модель ситуации; $P4$ – пространственная модель объекта; $P5$ – пространственная модель синтеза основания проекта и картографической основы; $P6$ – дополненная реальность – фотофиксация результатов проектирования и местности. Таким образом, при системном проектировании выделяют подсистемы проекта с учетом условий местности, картографической основы и особенностей проекта.

Если рассматривать геоинформационное проектирование как систему, то такая технологическая система Pr включает технологические этапы Pr_i . Это отражается в виде теоретико-множественного отношения

$$Pr1 \cup Pr2 \cup Pr_i \cup Pr_k = Pr \quad (2).$$

Системный подход разбивает систему геоинформационного проектирования на 5 этапов: $Pr1$ - Определение содержания рельефа местности, на который будет вынесен проект; $Pr2$ - Анализ проблем внешней среды в которую будет помещен проект; $Pr3$ - Анализ требований функционирования проекта во внешней среде; $Pr4$ - Логический анализ проекта; $Pr5$ - Анализ решений по выносу проекта в натуру.

Трехмерное проектирование пространственных объектов является одной из задач геоинформатики. В

геоинформатике трехмерное проектирование является разновидностью геоинформационного моделирования [12] и тесно связано с использованием пространственных моделей [13].

Трехмерное представление позволяет рассматривать проект в виртуальной реальности [14], в дополненной реальности и в виде скелетной пространственной модели. Это является преимуществом трехмерного проектирования. Виртуальная реальность позволяет осуществлять имитационное моделирование и выбирать оптимальное расположение проектируемого объекта. Трехмерное моделирование является важным направлением в развитии геоинформационных технологий и систем. Оно позволяет представлять реальную местность, объекты окружающего мира и их взаимное расположение.

Трехмерное проектирование на основе использования мобильного лазерного сканирования

Практические работы по применению и исследованию геоинформационного проектирования проводились с целью анализа транспортной инфраструктуры и формирования 3D-проекта железнодорожного пути. В качестве вспомогательных этапов включались работы по созданию цифровых ортофотопланов для определения фактических значений геометрических параметров железнодорожной инфраструктуры на участке Санкт-Петербург – Кошта Октябрьской железной дороги.

Работы выполнялись на основе данных, полученных при выполнении мобильного лазерного сканирования и аэрофотосъемки, совмещенной с воздушным лазерным сканированием. Фрагмент данных мобильного лазерного сканирования приведен на

рис. 1. Следует напомнить, что лазерное сканирование как дистанционное зондирование может выполняться в псевдоцветах для лучшей различимости пространственной информационной ситуации. На рис. 1 приведено изображение в псевдоцветах.

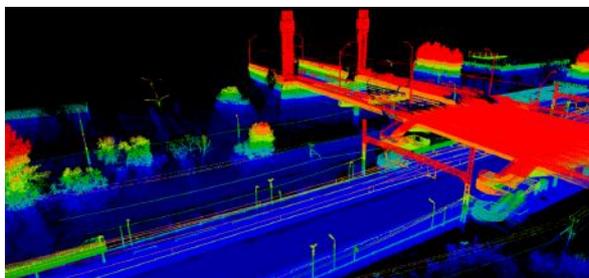


Рис.1 - Фрагмент данных мобильного лазерного сканирования (ст. Санкт-Петербург-Сортировочная)

В соответствии с требованиями технического задания была выполнена классификация точек лазерных отражений (ТЛО). Классификация производилась в системе координат МЖСК. В ходе выполнения классификации, ТЛО принадлежащие разным объектам местности сортировались на отдельные классы в соответствии с электронным классификатором (рис.2).



Рис.2 - Классификация облаков точек мобильного лазерного сканирования

Создание цифровой модели рельефа. Цифровые модели рельефа и растительности создавались с использованием классифицированных точек лазерных отражений. ЦМР

создавалась в системе координат МЖСК. Для создания ЦМР использовались классифицированные ТЛО класса «Ground» (земля).

Создание трехмерной цифровой модели ж/д пути и инфраструктуры. 3D-проект железнодорожной инфраструктуры представляет собой пространственное отображение реально существующих объектов ж/д инфраструктуры с учетом их пространственного положения. Формирование объектов ж/д инфраструктуры основывалось на следующих принципах: графический язык или каталог графических информационных единиц [15] объектов; синтаксис языка - правила формирования трехмерной модели инфраструктуры железнодорожного транспорта на основе информационных единиц [16]; семантика языка - правила по атрибутированию (наполнению семантикой) моделей проекта железнодорожной инфраструктуры. В данных документах содержится необходимая информация об объектовом составе, степени детализации и атрибутивному наполнению элементов создаваемой 3D-модели. Объекты отображались в соответствии с электронной 3D-библиотекой, соблюдая их плановое и высотное положение, а также конфигурацию и направление. Фрагменты библиотеки представлены на рис.3.

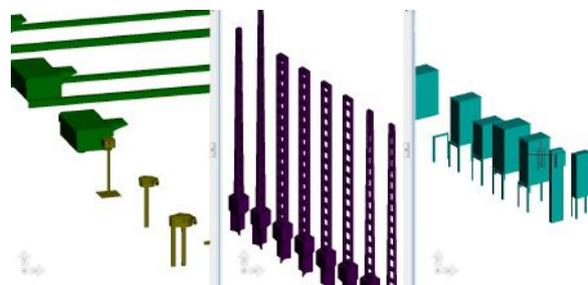


Рис.3 - Фрагмент 3D-библиотеки

3D-проектирование инфраструктуры ж/д пути выполнялось в четыре этапа: 1. Векторизация данных

ТЛО в соответствии с классификатором и техническими требованиями к 3D-модели ж/д инфраструктуры. 2. Сведение и проверка 3D-модели. 3. Атрибутирование объектов ж/д инфраструктуры в соответствии с каталогом, данными фотосъемки и данными, предоставленные заказчиком. 4. Совмещение 3D-модели и поверхности земли. Пространственное моделирование осуществлялось по следующим категориям объектов:

- Рельсовая нить основных путей
- Ось пути
- Шпалы основных путей
- Провода контактной сети (провод, трос) основных путей
- Провода электрической сети (подвешенные на опоры контактной сети)
- Пересечения
- Опоры и фундамент контактной сети без консолей
- Тело платформы
- ИССО
- Километровые/пикетажные столбы
- Все остальные элементы, указанные в каталоге объектов.

Результаты проектирования приведены на рис.4-6

Согласно каталогу каждый элемент имеет свой слой с заданными характеристиками (цвет, толщина линии, стиль линии). Использование электронной 3D-библиотеки позволило свести к минимуму ошибки оформления объектов 3D-модели. Сведение и проверка 3D-модели подразумевает под собой соединение всех оцифрованных ж/д объектов в единый файл протяженностью в 5 км и их корректное взаиморасположение друг относительно друга.

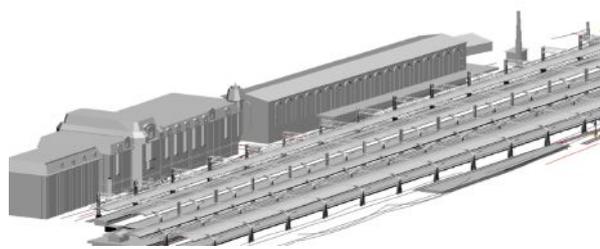


Рис.4. Трехмерный геоинформационный проект как цифровая модель (ст. Санкт-Петербург-Главный-Московский)

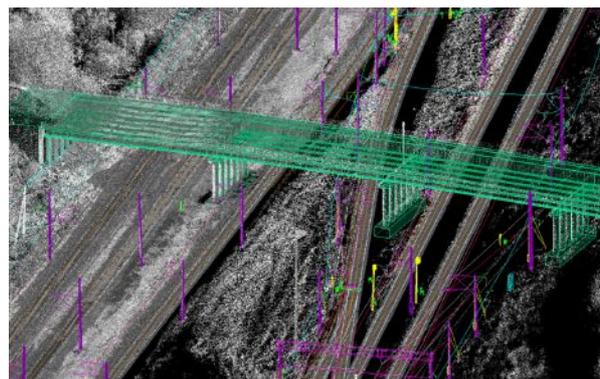


Рис.5. Фрагмент проекта цифровая модели, совмещенная с ТЛО (ст. Кошта)

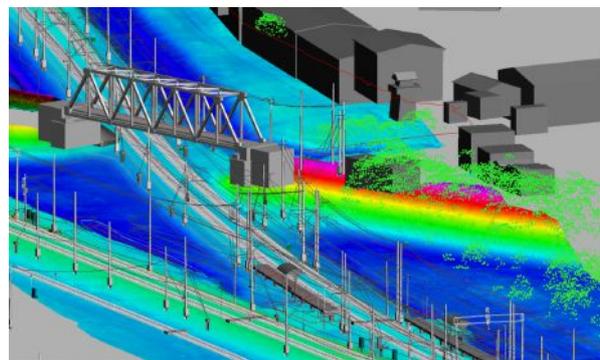


Рис.6 – Фрагмент проекта _ цифровая модели совмещенная с ЦМР и ТЛО (ст. 5 км Октябрьской ж/д)

После завершения графической части работ, производилась атрибутирование объектов модели – присвоение объектам семантических характеристик и уникального кода согласно «Инструкции по атрибутированию объектов железнодорожной инфраструктуры».

Первоочередными объектами атрибутирования являлись:

- Километровые и пикетажные столбы (по данным фотофиксации).

- Опоры контактной сети, светофоры (по данным фотофиксации).
- Провода, рельсовая нить, шпалы (присваивался Class ID согласно каталогу).
- ИССО (по электронным таблицами, предоставленными заказчиком).
- Остальным элементам присваивался Class ID согласно каталогу.

Фрагмент атрибутированных данных (пикетаж) представлен на рис. 7.

Контроль точности и качества готовой продукции проводился в соответствии с «ЧТЗ Утилита форматно-логического контроля» и «Инструкция о порядке контроля и приемки геодезических работ, топографических и картографических работ» [17] для следующих видов данных: классификация точек лазерных отражений; цифровые 3D-модели инфраструктуры ЖД пути; цифровые ортофотопланы.

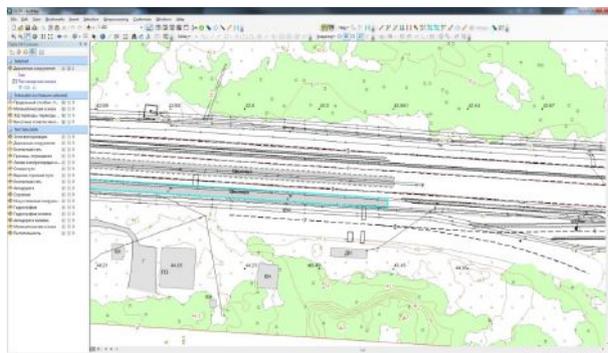


Рис.7 - Фрагмент атрибутированных данных (ст. Цвылево 183-184км)

Все виды контроля производились в системе координат МЖСК. Для каждого набора данных выполнялись следующие виды контроля:

- для точек лазерных отражений:
 - правильность дешифрирования и классификации ТЛО
 - для цифровых 3D-моделей инфраструктуры ж/д пути:
 - точность моделирования объектов 3D-модели по ТЛО;
 - полнота объектового состава 3D-модели (пропуск объектов);

- правильность топологии объектов 3D-модели;
- соответствие 3D-модели каталогу объектов, правилам цифрового описания и электронному шаблону;
- качество сводки отдельных частей 3D-модели;
- полнота атрибутивной информации 3D-модели.
- для ортофотопланов:
 - точность привязки ортофотопланов;
 - качество «порезов»;
 - качество тонового выравнивания изображения.

Принципы проектирования

На первом этапе геоинформационного проектирования создается скелетная модель объекта и делается ее описание с помощью различных информационных единиц как элементов описания [18], имеющих семантическое окружение [19]. Идея использования информационных единиц восходит к лингвистике, логики и программированию. Любой язык: логики, язык карт [20], язык информатики [21] или язык пространственной агрегации [22] - использует алфавит как набор информационных единиц. Информационные единицы играют роль систематизации описания любой области. Информационные единицы задаются не сами по себе, а совместно с синтаксисом их применения. Таким образом, применение информационных пространственных единиц обеспечивает логику и системность описания языка, элементами которого данные единицы являются. На втором этапе осуществляется структуризация проекта и строится логически связанная модель проекта. На последнем этапе проектные единицы наполняются семантическим содержанием и происходит формирование проекта как семантически содержательной модели.

Принципиальным является использование при проектировании

информационной модели ситуации [23]. Это является отличительным признаком от моделирования объектов, при котором о ситуации ничего не говорится. Информационная модель ситуации может быть описана с помощью информационных единиц. В этом случае она является аналогом цифровой модели рельефа, на которую выносятся проект. Информационная ситуация может быть описана набором слабо связанных параметров без использования информационных единиц. В этом случае она является подобием аналоговой модели.

Геоинформационное проектирование решает задачи построения объекта и выноса его в натуру. Последнее возможно (в отличие от САПР) за счет того, что в распоряжении геоинформационного проектирования имеется набор пространственных моделей местности, таких как цифровая модель местности или цифровая модель рельефа. При геоинформационном проектировании существует возможность выбора расположения объекта на модели до его физического выноса в натуру.

Цифровые модели [24, 25] представляют пространственные дискретные модели, описывающие реальную ситуацию размещения объекта. Они создаются на основе измерительных геодезических работ и фотограмметрической съемки. Цифровая модель представляет собой совокупность трехмерных координат точек земной поверхности и точек пространственных объектов.

Заключение

Геоинформационное проектирование является системной целостностью или сложной технологической системой. Оно позволяет решать задачи проектирования объектов, моделирования выноса проекта в натуру, осуществлять вынос проекта в натуру и проводить окончательный контроль результатов геоин-

формационного проектирования. Технология геоинформационного проектирования имеет право на существование как самостоятельная технология. Она отличается от других технологий проектирования и дает результаты, которые другие технологии проектирования не дают. Геоинформационное проектирование, как сложная технологическая система, позволяет выделять системные сущности как самостоятельные этапы и результаты всего комплекса. Основой геоинформационного проектирования являются геоданные. Одно из отличий геоинформационного проектирования от геоинформационного моделирования в том, что геоинформационное проектирование использует только пространственные модели (модели реальности), а геоинформационное моделирование использует цифровые модели (модели схемы). Особенность геоинформационного проектирования в возможности визуального и геометрического моделирования выноса проекта в натуру и тем самым в экономической эффективности, позволяющей исключать дополнительные работы на местности. Геоинформационное проектирование решает проектные задачи, которые не могут решить системы САПР. Геоинформационное проектирование решает задачи не только проектирования, но и размещения на уровне имитационного моделирования и подготовки проекта. Дополнительным преимуществом геоинформационного проектирования является создание трехмерных карт или трехмерных моделей, которые в дальнейшем становятся архивными документами и служат основой для коррекции проекта в дальнейшем или для мониторинга его состояния. В настоящее время это направление требует внимания и дальнейшего развития.

Литература / Reference

1. Corney J., Lim T. 3D Modeling with ACIS. – Stirling : Saxe-Coburg, 2001.
2. V. P. Savinykh and V. Ya. Tsvetkov. Geodata As a Systemic Information Resource.

- Herald of the Russian Academy of Sciences, 2014, Vol. 84, No. 5, pp. 365–368. DOI: 10.1134/S1019331614050049
3. Лёвин Б. А., Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Моделирование рельефа на основе триангуляции Делоне // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – с.3-15.
 4. Буравцев А.В. Сложные технологические системы // Славянский форум. - 2017. -4(18). – с.14-19.
 5. Монахов С.В., Савиных В.П., Цветков В.Я. Методология анализа и проектирования сложных информационных систем. - М.: Просвещение, 2005. - 264с
 6. Власов А. И. Системный анализ технологических процессов производства сложных технических систем с использованием визуальных моделей //Международный научно-исследовательский журнал. – 2013. – №. 10. – С. 17.
 7. Павлов А.И. Сложные организационные системы // Славянский форум. -2018. – 4 (22). - с.54-59.
 8. Гарькин И. Н., Гарькина И. А. Системные исследования при технической экспертизе строительных конструкций зданий и сооружений //Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №. 3. – С. 40-40
 9. Franz M. Project management with SAP project system. – Galileo Press, 2010
 10. Ипатова Э. Р. Методологии и технологии системного проектирования информационных систем. – Флинта, 2008
 11. Kendall K. E. et al. Systems analysis and design. – Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall, 1992.
 12. Цветков В.Я. Геоинформационное моделирование // Информационные технологии. - 1999. -№3. - с. 23- 27.
 13. Tsvetkov V. Ya. Spatial Information Models // European researcher. Series A. 2013. №10-1(60). с.2386-2392
 14. I. P. Deshko, K.G. Kryazhenkov, E. E. Cheharin. Virtual Technologies // Modeling of Artificial Intelligence. 2016, Vol. 9, Is. 1, pp. 33-43
 15. Докукин П. А. Графические информационные единицы // Перспективы науки и образования. - 2015. - №3. - с.32-39
 16. Tsvetkov V. Ya. Information Units as the Elements of Complex Models // Nanotechnology Research and Practice. - 2014, Vol.(1), № 1, p57-64
 17. Инструкция о порядке контроля и приемки геодезических работ, топографических и картографических работ» ГНИИП (ГНТА)-17-004-99
 18. Ozhereleva T. A. Systematics for information units // European Researcher. Series. A. 2014, Vol.(86), № 11/1, pp. 1894-1900
 19. V. Ya. Tsvetkov. Semantic environment of information units // European researcher. Series A. 2014, Vol.(76), № 6-1, p. 1059-1065
 20. Лютый А.А. Язык карты: сущность, система, функции. - 2-е изд. - М.: ГЕОС, 2002. - 327 с
 21. Цветков В. Я. Язык информатики // Успехи современного естествознания. - 2014.- №7. - с.129-133
 22. Bailey-Kellogg, C., & Zhao, F. (2003). Qualitative spatial reasoning extracting and reasoning with spatial aggregates. *AI Magazine*, 24(4), 47
 23. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // Славянский форум, 2016. -4(14). – с.198-203
 24. Цветков В.Я. Использование цифровых моделей для автоматизации проектирования // Проектирование и инженерные изыскания. - 1989. - № 1. - с. 21 -23
 25. Куприянов А.О. Цифровое моделирование при проектировании и мониторинге трасс // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.70-81.



GEOINFORMATIONAL DESIGN OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE OBJECTS

Andreeva O.A.

Research and Design Institute of design information,
automation and communication on railway transport, Russia

E-mail: cvj2@mail.ru

Abstract. *The article explores the technology of geo-information design. The technology uses mobile laser scanning. The object of study is transport infrastructure. The article describes the methods of three-dimensional geo-information design applied to the railway. The connection between three-dimensional modeling and three-dimensional design is shown. A system analysis of GIS design is described. Two GIS systems are described. The first complex system is a geographic information project. Geographic information project is a complex information system. The second complex system is a complex technological design system. A formal description of design systems is described. The main subsystems of the geographic information project are described. The main stages of geoinformation design are described. The fundamentals of three-dimensional geo-information modeling and three-dimensional geo-information design are revealed. A practical experiment on geo-information design of transport infrastructure facilities is described. Showing images of mobile laser scanning of transport infrastructure. An example of a classification of a mobile laser scanning point cloud is given. Graphic information units used for geoinformation design are described. The categories of classification of objects in the point cloud are described. Examples of digital models of transport infrastructure are given. The attribution procedure is described. . The article reveals the content of the principles of geo-information design. The role of information units as the basis of design is shown. The article proves that geo-information design is a complete technological system.*

Keywords: *geoinformatics, geoinformation design, geoinformational modeling, spatial models, digital models, augmented reality, technological system, systematic.*

© Андреева О.А., 2020

ПОДХОДЫ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДИКИ ЗЕМЛЕУСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ КОНСОЛИДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ

Иванов Н.И.

Сорогин А.С.

Государственный университет по землеустройству, Россия

E-mail: ivanov@guz.ru

E-mail: soroginas@yandex.ru

***Аннотация.** В статье на основе краткого обзора становления и развития агропромышленного комплекса страны представлены научные предложения в области развития концептуальных подходов эффективного использования земель сельскохозяйственного назначения, предусматривающие разработку проектов землеустройства на основе комплексной консолидации земель, совершенствования организационно-экономического механизма землевладения. Авторами сделан вывод, что основное внимание в проектах по организации территории перемещается с аспектов по реструктуризации сельского хозяйства и иных землеемких отраслей на консолидацию земель для дальнейшего эффективного использования сельских территорий посредством балансирования интересов сельского хозяйства, сохранения ландшафтов, рекреации и строительства, а также охраны природы. Даны предложения по плану проведения консолидации земель в ходе землеустроительного проектирования в системе агропромышленного комплекса; отмечены наиболее востребованные в настоящее время инструменты государственного регулирования сельскохозяйственной отрасли.*

***Ключевые слова:** проект землеустройства, консолидация земель, сельская территория земли сельскохозяйственного назначения.*

Становление агропромышленного комплекса (АПК) тесно связано с эпохой интенсивного развития материально-технической базы сельского хозяйства, превращения его в производство индустриального типа. Начало его формирования в России относится к рубежу 70-80 годов XX века. В эти годы процессы консолидации земель, кооперации и интеграции производства активно развивались. В результате было создано более 100 агропромышленных комбинатов. Формировался организационно-экономический механизм управления предприятиями, основанный на интеграции сфер производства, переработки и реализации сельскохозяйственной продукции.

В эти же годы в связи с развитием межхозяйственной кооперации и агропромышленной интеграции, специализации производства и консолидации земель сельскохозяйственного назначения между агропромышленными предприятиями стали складываться технологические, организационные, экономические и социальные взаимосвязи. В связи

с этим возникла необходимость перед составлением проектов землеустройства разрабатывать предпроектные документы - схемы землеустройства районов. Эти материалы использовались при внутрихозяйственном землеустройстве района. Для реализации входящих в них мероприятий стали разрабатываться рабочие планы, которые широко использовались после принятия постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 30 марта 1981 года «О мерах по дальнейшему улучшению проектно-сметного дела».

Таким образом, сложилась государственная система землеустроительного проектирования, которая включала в себя следующие проектно-сметные работы:

- предпроектное проектирование;
- проектирование на межхозяйственном и внутрихозяйственном уровнях;
- составление рабочих проектов, связанных с использованием и охраной земель;

- этап осуществления проектов землеустройства.

Следует отметить, что этапы составления проекта, его рассмотрение, согласование, утверждение и осуществление являлись преобладающими как по значимости, так и по трудоемкости. Но несмотря на это, они в те же годы имели явную тенденцию к увеличению, поскольку это было связано с необходимостью привести в соответствие организацию территории с развитием производства, изменениями в земельных отношениях, с возрастающими требованиями по охране окружающей среды.

В 1980-х годах при разработке программ сельского развития в густонаселенных странах Европы стали происходить изменения с учетом мнений местных органов власти, общественности и заинтересованности фермеров.

К таким особенностям можно отнести следующие:

- усилен подход «снизу-вверх», программы разрабатываются с учетом мнения населения, так как чем выше степень участия населения в разрабатываемых программах, тем достовернее её результаты и выше степень реализации;
- упрощены методики разработки программ, чтобы они были понятны наиболее широкому кругу потенциальных разработчиков. [3]

Их программы характерны децентрализацией управления и финансирования, индивидуальным территориальным подходом, алгоритмам «снизу-вверх», партнерством, созданием межпроизводственных сетей, внедрением инноваций, межотраслевой интеграцией и кооперацией, то есть созданием условий для возникновения агропромышленных комплексов.

На эти же цели направлены исследования ФАО ООН по вопросам землеустройства, в частности «Разработка концепции экспериментальных проектов консолидации земель в Центральной и

Восточной Европе». Разработчики Концепции считают, что осуществление экспериментального проекта представляет собой очень эффективный способ создания основы для реализации более крупной и долгосрочной программы консолидации земель.

В мировой практике землеустройства всегда консолидация земель считалась инструментом или отправной точкой развития сельских районов.

В России действуют положения Концепции устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2020 года (утверждена распоряжением Правительства РФ от 30.11.2010 №2136-р), где определены ключевые проблемы развития сельских территорий и меры социально-экономического, правового и административно-управленческого характера. Эти меры, по замыслу разработчиков Концепции, призваны вывести на качественно новый уровень развития сельские территории, что в свою очередь должно создать условия для эффективного использования земель сельскохозяйственного назначения.

На фоне еще недостаточно высоких темпов развития агропромышленного производства, сотен тысяч гектаров заброшенных земель, недостаточного уровня в продовольственном обеспечении населения собственными продуктами питания, актуально развитие концептуальных подходов в эффективном использовании сельхозпроизводителями земель сельскохозяйственного назначения.

Особо следует подчеркнуть, что в настоящее время сельская территория не рассматривается только с точки зрения сельскохозяйственного производства. Концепции сельского развития стали намного шире и учитывают широкий диапазон несельскохозяйственных видов деятельности, а также рост природоохранного сознания людей, изменение климата.

Основное внимание в проектах по землеустройству переместилось с аспектов по реструктуризации сельского хозяйства на консолидацию земель для дальнейшего эффективного использования сельских территорий посредством балансирования интересов сельского хозяйства, сохранения ландшафтов, рекреации и строительства, а также охраны природы.

В настоящее время все более востребованным становится осуществление проектов землеустройства в интересах возрождения сельских поселений, в том числе и с применением инструментов консолидации земель. Только эффективное использование земель сельскохозяйственного назначения может обеспечить рост благосостояния сельских жителей и кадровое обеспечение села.

Проекты по комплексной консолидации земель могут предусматривать усовершенствование организационно-экономического механизма землевладения, связанного с изменением устаревших прав доступа к землям для выпаса скота, косьбы, валки леса, рыболовства, добычи торфа, песка, глины и так далее.

Процедуры в рамках землеустроительных проектов по комплексной консолидации земель могут отличаться от региона к региону, но они, как правило, предусматривают основные этапы проектирования, которые мы свели в табл. 1.

Распределение обязанностей по осуществлению данных этапов может различаться в разных юрисдикциях.

Четкое разграничение обязанностей по контролю и мониторингу, общему надзору может осуществляться общественностью, по основным контрольные учреждения должны быть определены законом. В настоящее время, в связи с децентрализации органов власти, все большее значение в консолидации земель сельскохозяйственного назначения приобретает местные и региональные власти, муниципалитеты и

различные ассоциации водные, лесные, противопожарные и другие. В данный органы могут также играть свою роль в реализации проектов и покрывать часть издержек на их реализацию.

Для России очень важное значение имеет информированность о выгодах в результате осуществления землеустроительных проектов на базе консолидации земель сельскохозяйственного назначения. К сожалению, даже имея информацию о стратегических целях государственной политики по созданию предпосылок для устойчивого развития сельских территорий, на местах слабо представляют возможности развития в сельской местности комплексной консолидации земель с целью их эффективного использования. Отсутствует информация об источниках финансирования таких проектов, кто участвует в финансировании, развитии самоуправления и других институтов гражданского общества.

Имеет большое значение использование земельных банков для предоставления фермерам возможности расширения своих владений, а также для удовлетворения общественных нужд, таких как новые дороги, экологические заповедники, рекреационные площадки и другие места общественного пользования.

Управление проектами по консолидации земель играет решающую роль по своевременной их реализации и возможного сокращения объемов финансирования и обеспечения законности всех принимаемых решений.

В заключении следует подчеркнуть роль государства в стимулировании создания землеустроительных проектов по консолидации земель сельскохозяйственного назначения, поскольку такая консолидация содействует улучшению развитию самого сельского хозяйства и созданию благоприятной среды проживания сельских жителей.

Таблица 1

Этапы землеустроительного проектирования
в системе агропромышленного комплекса

Инициирование проекта по консолидации земель	Заявка на инициирование проекта				
	Разработка предварительного плана консолидации земель				
	Расчёт расходов и предлагаемые источники финансирования				
	Утверждение заявки пользователями и представителями власти				
	Общественное обсуждение проекта, учёт предложений, их корректировка				
Этап инвентаризации земель, подлежащих консолидации	Разрешение на разработку проекта землеустройства по консолидации земель				
	Точное определение территории и объема проекта, техническая документация по инвентаризации консолидируемых земель				
	Уточнение и обновление данных в Государственном земельном кадастре				
Определение существующей ситуации	Обнародование результатов инвентаризации, решение земельных споров				
	Установление или правовое оформление границ и правового статуса участков, включая права сервитута или ограничения прав на землю				
	Определение районов, имеющих важное экологическое значение				
	Определение стоимости земельных участков				
Разработка подробного плана консолидации земель	Урегулирование вопросов, связанных с границами, правом собственности и стоимостной оценкой				
	Подготовка проекта плана, в котором указано расположение нового участка, местоположение дорог и других коммунальных учреждений				
	Разработка дополнений и плановых альтернатив с оценками их рентабельности и экологических последствий				
Этап внедрения	Утверждение подробного плана консолидации земель				
	Строительство или реконструкция инженерных сетей, дорог, мелиоративных систем	Набор подрядчиков для проведения работ, общественные работы (выравнивание земель, устройство дренажей и т.д.)	Перераспределение земель в пределах консолидируемой территории	Кадастровые съемки новых объектов инфраструктуры, составление плана перераспределения, определение финансовых компенсаций, утверждение плана перераспределения	
	Заключительный этап	Регистрация новых земельных участков и договоров аренды			
		Расчет компенсаций и распределение расходов			
Обеспечение и охрана прав собственности и землепользования					

Лишь в последние годы, осознавая ограниченность рыночного механизма и необходимость использования обширного арсенала средств *прямого регулирования*, органы власти стали применять программно-целевой подход к управлению АПК. Следует отметить, что спектр форм, методов и инструментов, с помощью которых государственные органы власти воздействуют на воспроизводственный процесс АПК, весьма широк. Механизм государственного регулирования агропромышленного комплекса реализуется посредством:

- правового, нормативного и информационного обеспечения;
- инфраструктурного обеспечения;
- реализации инструментов по регулированию рынка продукции;
- прогнозирования, планирования и программирования;
- ценового регулирования;
- финансового обеспечения.

Однако следует отметить, что такая модель государственного управления АПК будет продуктивно работать только при условии эффективного использования земель сельскохозяйственного назначения, сбалансированного размещения их на территории региона и муниципального района и консолидации ресурсов для их обслуживания.

Литература / Reference

1. Волков, С. Н. Концепция управления земельными ресурсами и землеустройства сельских территорий в Российской Федерации [Текст] / С. Н. Волков // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2013. – №10. – С. 6-11. [Volkov, S. N. The concept of land management and land-device rural areas in the Russian Federation [Text] / S. N. Volkov // Land management, cadastre and land monitoring. - 2013. - No. 10. - S. 6-11.]
2. Волков, С. Н. Как достичь эффективного управления земельными ресурсами в России? [Электронный ресурс] / С. Н. Волков, Н. В. Комов, В. Н. Хлыстун. – Режим доступа: <http://qje.su/zemleustrojstvo/kak-dostich-effektivnogo-upravleniya-zemelnymi-resursami-v-rossii/?print=print>.

3. Алексанов, Д.С. Экономическая оценка инвестиций: учеб. пособие [Текст] / Д.С. Алексанов, В.М. Кошелев. – М.: Колос-Пресс, 2002. – 380 с. [Aleksanov, D.S. Economic valuation of investments: textbook. allowance [Text] / D.S. Aleksanov, V.M. Koshelev. - M.: Kolos-Press, 2002. - 380 p.]
4. Варламов, А. А. Состояние сельского хозяйства России и совершенствование сельскохозяйственного землепользования [Текст] / А. А. Варламов, С. А. Гальченко, П. В. Ключин // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель: научно-практический ежемесячный журнал. - М.: ИД «Просвещение». - 2015. - №4.- С.6-15. [Varlamov, A. A. The state of agriculture in Russia and the improvement of agricultural land use [Text] / A. A. Varlamov, S. A. Galchenko, P. V. Klyushin // Land management, cadastre and monitoring lands: scientific and practical monthly journal. - M.: Publishing House "Education". - 2015. - No. 4.- P.6-15.]
5. К вопросу об эффективном управлении территориальным развитием Российской Федерации для устойчивого роста экономики / Коростелев С.П., Маргалитадзе О.Н., Чемодин Ю.А., Горбунов В.С. // Московский экономический журнал. — 2019. — №3. — С. 3. [On the issue of effective management of the territorial development of the Russian Federation for sustainable economic growth / Korostelev SP, Margalitadze ON, Chemodin Yu.A., Gorbunov VS // Moscow Economic Journal. - 2019. - No. 3. - S. 3.]
6. Управление земельными и другими природными ресурсами / Алтухов А.И., Липски С.А., Ломакин Г.В., Мурашева А.А., Столяров В.М., Иванова Н.А. и др. - М.: Научный консультант, 2020. - 716 с. [Management of land and other natural resources / Altukhov A. I., Lipsky S. A., Lomakin G. V., Murasheva A. A., Stolyarov V. M., Ivanova N. A. et al. - M.: Scientific Consultant, 2020. - 716 c.]



APPROACHES TO IMPROVING METHODS OF LAND MANAGEMENT DESIGN IN THE SYSTEM OF AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX BASED ON LAND CONSOLIDATION

Ivanov N.I.

Sorogin A.S.

State University of Land Use Planning, Russia

E-mail: ivanov@guz.ru

E-mail: soroginas@yandex.ru

***Abstract.** Based on a brief overview of the formation and development of the agro-industrial complex of the country, the article presents scientific proposals for the development of conceptual approaches to the effective use of agricultural land, providing for the development of land management projects based on integrated land consolidation, improving the organizational and economic mechanism of land ownership. The authors conclude that the main focus of projects on territory organization is shifting from aspects of restructuring agriculture and other land-intensive industries to land consolidation for further effective use of rural territories by balancing the interests of agriculture, landscape conservation, recreation and construction, as well as nature protection. Proposals are given for the plan of land consolidation in the course of land management design in the system of the agro-industrial complex; the most popular instruments of state regulation of the agricultural sector are noted.*

***Keywords:** land management project, land consolidation, rural territory, agricultural land.*

© Иванов Н.И., Сорогин А.С., 2020



GeoScience

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