ДИНАМИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

электронный научно-образовательный журнал

2019/2

УДК 55
ББК 26.32я43
Д46

Д46 Динамическая геология. Электронный научно-образовательный журнал 2019/2 – Москва : Изд-во «Перо», 2019. – 67с. (76Мб). [Электронное издание].

ISBN 978-5-9-00150-152-7

Электронный адрес журнала
http://www.geodisaster.ru

Под редакцией к.г.-мин. наук В.А.Зайцева
Редколлегия:
Л.В.Панина, А.И.Полетаев.

Кафедра динамической геологии выпускает второй номер научно-образовательного журнала «Динамическая геология». В данном номере опубликованы статьи, посвящённые различным аспектам динамической геологии. В основном это работы, заявленные на конференцию «Ломоносовские чтения – 2019». В этом журнале представлены новые разделы – история геологии и картинная галерея сотрудников кафедры динамическая геология. В научном разделе журнала рассмотены вопросы тектоники и метаморфизма Северо-Восточного Таймыра, использования термолюминесцентного метода, методики определения современной кинематики и реконструкции напряженно-деформированного состояния блоков земной коры. Предлагаемые статьи изложены в авторской редакции.

УДК 55
ББК 26.32я43

На обложке журнала – кальдера вулкана Санторин (Греция) Фото Зайцева В.А.

ISBN 978-5-9-00150-152-7
© Авторы статей, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Демина Л.И., Промыслова М.Ю. Метаморфические комплексы Фаддеевского тектонического блока Северо-Восточного Таймыра **4**

Солодкова Н.А. Применение термолюминесцентного метода для корреляции рифейских отложений Куюмбинской зоны нефтегазонакопления (Байкитская антеклиза, Сибирская платформа) **17**

Симонов Д.А., Захаров В.С. Методика определения современной кинематики дискретных блоков земной коры на основании данных GNSS и возможность их применения для прогнозирования флюидной проницаемости **23**

Агибалов А.О., Бондарь И.В., Зайцев В.А., Сенцов А.А., Бардышев Г.П. Реконструкция напряженно-деформированного состояния Северного Приладожья по геолого-кинематическим индикаторам **32**

История геологии

Полетаев А.И., Гущин А.И., Брянцева Г.В. Апология Николауса Стено, или об умении не только смотреть, но и видеть **44**

Брянцева Г.В., Гущин А.И., Романовская М.А. Алмазные героини России: 65 лет крупнейшему геологическому открытию XX века **52**

Картинная галерея сотрудников кафедры динамическая геология

Николай Владимирович КОРОНОВСКИЙ **62**

Наталья Петровна КОСТЕНКО **65**

УДК 552.4, 552.163 (571.511)

МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ФАДДЕЕВСКОГО ТЕКТОНИЧЕСКОГО БЛОКА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ТАЙМЫРА

Демина Л.И., Промыслова М.Ю.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ

В составе Таймырской складчатой области очень широко распространены разнофациальные и разновозрастные метаморфические комплексы. Нами изучались метаморфиты Фаддеевского блока (выступа, террейна) Центрально-Таймырской тектонической зоны Восточного Таймыра. Здесь, по мнению большинства исследователей, распространены наиболее сильнодислоцированные и глубокометаморфизованные породы полуострова. Они слагают блок клиновидной формы, ограниченный с юго-востока зоной Пясино-Фаддеевского надвига, являющегося границей Центрально- и Южно-Таймырских тектонических зон. От распространенных на западе и северо-западе, преимущественно, зеленосланцевых метаморфических толщ он также отделен системой разрывных нарушений. Тектоническая природа Фаддеевского блока является предметом дискуссий. Одна часть исследователей относит его к кристаллическому фундаменту Сибирской платформы, существенно переработанному в последующие этапы тектогенеза [Погребицкий, 1971; Хаин, 2001; Качурина и др., 2013; Кузьмичев, 2018], другая – аккреционному террейну, образовавшемуся в позднем рифее при столкновении островной дуги и континентальных масс с корой раннепротерозойского возраста и присоединившемуся к краю Сибирского континента в венде [Верниковский. 1996, Проскурин и др., 2014].

Метаморфические образования района ранее рассматривались как стратифицированные толщи. Здесь выделялись (снизу вверх) архей-нижнепротерозойские нижнекарская, верхнекарская и фаддеевская свиты обшей мощностью до 7 км [Равич, Погребицкий, 1965], городковская, фаддевская, симсовская свиты [Забияка и др., 1986] а также другие свиты и толщи. В настоящее время метаморфические образования района относятся к нестратифицированному фаддеевскому метаморфическому комплексу протерозойского возраста [Качурина и др. 2013]. По мнению А.Б. Кузьмичева и М.К. Данукаловой [2018] в геологическом строении района участвуют следующие комплексы горных пород: мезопротерозойский метаосадочных пород, прорванный метагабброидами и метадолеритами с возрастом 1309±22 млн лет; неопротерозойский вулканогенно-осадочный – 823-846 млн лет; поздненеопротерозойский орогенный грубообломочных осадочных пород

и доломитов. Все перечисленные комплексы перекрываются неметаморфизованными верхневендскими и нижнепалеозойскими образованиями становской и колосовской свит.

Метаморфизм Фаддеевского блока изучен слабо ввиду его труднодоступности и крайне суровых природных условий. Первые сведения о PT-параметрах метаморфизма, основанных на физико-химическом анализе парагенезисов и составе породообразующих минералов, были приведены в работе В.П. Белова и Л.И. Деминой [1980]. Впоследствии они были дополнены В.А. Верниковским [1996].

МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

Бассейн р. Становой, где нами были проведены полевые исследования, расположен на крайнем северо-востоке Таймыра, непосредственно к югу от залива Фаддея. В данном районе распространены самые разнообразные метаморфические толщи, которые разделены нами на три отличающихся по составу и степени метаморфизма комплекса: Западный, Восточный и Становской (рис. 1).

Западный комплекс представлен преимущественно бедными кальцием метаморфитами: гранат-биотитовыми, гранат-биотит-(дистен)-силлиманитовыми, гранат-кордиеритовыми, биотитовыми кристаллосланцами и гнейсами; кварцито-гнейсами, гранито-гнейсами и гнейсо-гранитами. Только для этой части района характерны парагенезисы высокотемпературных гранат-кордиеритовой и гранат-биотит-ортоклазовой минеральных фаций. Здесь же очень широко проявлены процессы гранитизации толщ. Они выражаются в образовании мигматитов, порфирobласт розового калиевого полевого шпата с постепенным переходом от гнейсов к гранито-гнейсам и гнейсовидным гранитам. PT-условия метаморфизма пород соответствуют высокотемпературной ступени амфиболитовой фации: T=615-690ºC; P=6,5-8,6 кбар [Белов, Демина, 1980].

Восточный комплекс сложен как бедными, так и богатыми кальцием метаморфитами, которые составляют около трети пород, встреченных в обнажениях. Это преимущественно плагиоклазовые амфиболиты, иногда с реликтами порфировых структур, метагаббroиды, метадолериты и известково-силикатные породы. Бедные кальцием разности представлены биотит-гранатовыми, двуслюдяными, иногда с гранатом, кристаллосланцами, мусковитовыми плагиогнейсами, соответствующими гранат-биотит-мусковитовой минеральной ступени амфиболитовой фации. Они отличаются также от пород Западного комплекса более низкой степенью метаморфизма толщ: T=580-660ºC; P=5,5-6,8 кбар. Это может свидетельствовать о том, что в момент метаморфизма толщи западной части Фаддеевского блока располагались на больших глубинах, чем восточной. Подтверждением этому является также и более интенсивная гранитизация пород западной части блока.

Становской комплекс занимает промежуточное положение между Западным и Восточным и разграничивает различающиеся как по составу, так и, вероятно, по положению в разрезе толщи метаморфитов.

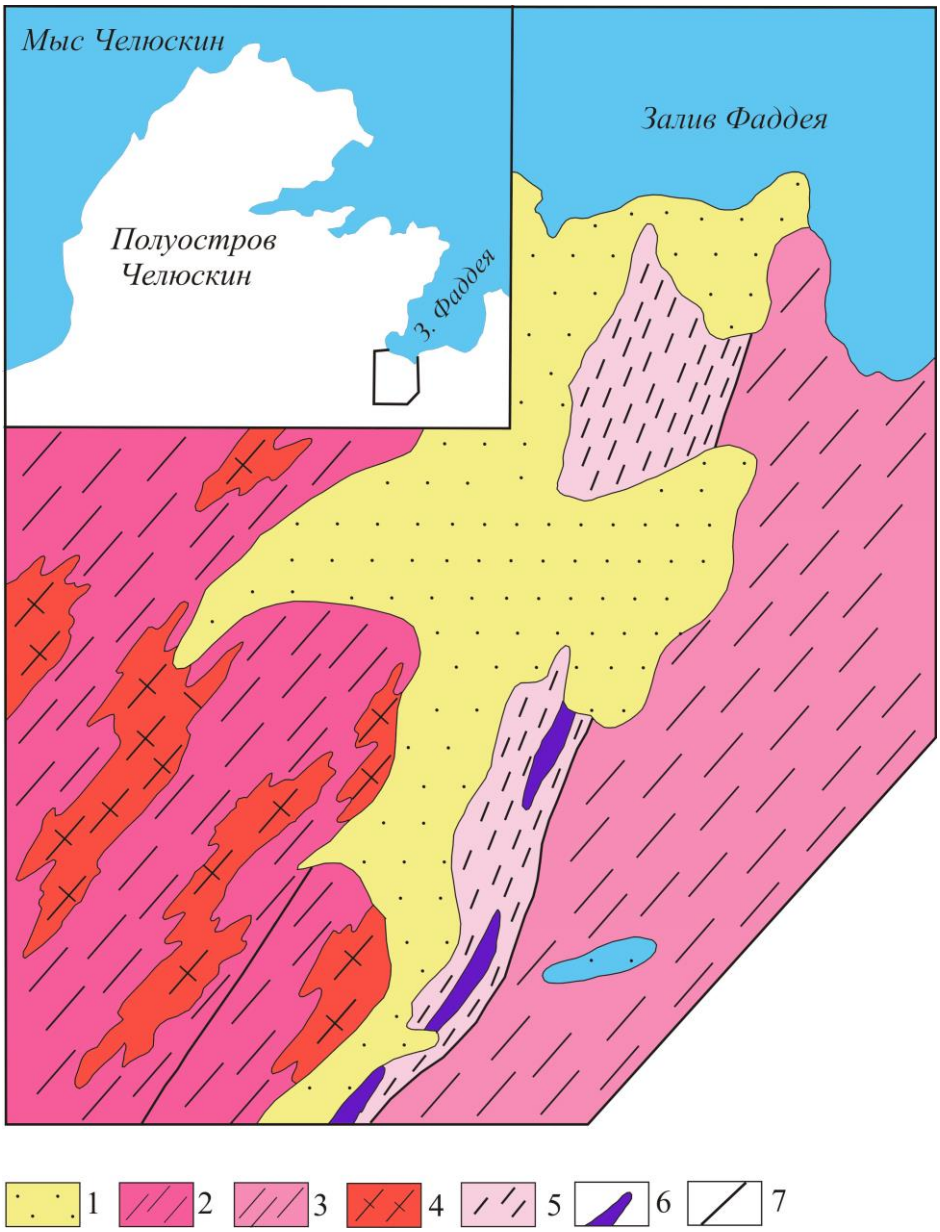


Рис. 1. Схема геологического строения района р. Становой Фаддеевского блока, по [Белов, Демина, 1980], с изменениями: 1 – рыхлые четвертичные отложения, 2, 3 – мезопротерозойские метаморфиты Западного (2) и Восточного (3) комплексов, 4 – гранито-гнейсы, 5 – неопротерозойские метаморфиты Становского комплекса, 6 – серпентиниты, 7 – разрывы

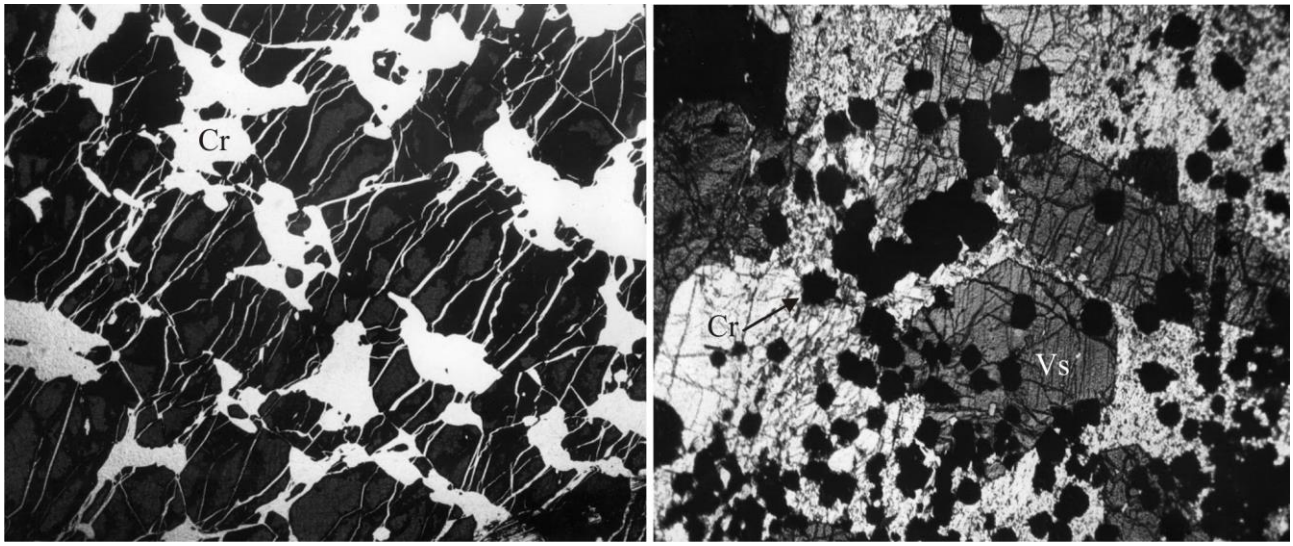
Становской комплекс резко выделяется от остальных и развит в зоне, ограниченной разрывами. Весьма разнообразные по составу и степени метаморфизма породы тесно

ассоциируются здесь с линзовидными телами серпентинитов, протягивающимися цепочкой в северо-восточном направлении. При ширине Становской зоны около 1-2 км она хорошо прослеживается более чем на 30 км по простиранию. Внутреннее строение зоны весьма сложное. Многочисленными субмеридиональными, субширотными и северо-восточными разрывами породы в ее пределах разбиты на отдельные блоки размером от нескольких метров до первых километров. Элементы залегания пород, относительно выдержанные в пределах отдельного блока, весьма изменчивы для зоны в целом. Наряду с крутым падением как в восточном, так и в западном направлениях, наблюдается слабонаклоненное моноклинальное залегание, например, светло-желтых мраморов, обнажающихся в правом борту р. Становая в 12 км выше устья. Неустойчивость элементов залегания здесь резко контрастирует с их выдержанностью за ее пределами, где на многие километры как вкрест, так и по простиранию метаморфитов Западного и Восточного комплексов наблюдается монотонное падение слоев на запад-северо-запад с углами преимущественно в 50-75º.

В пределах Становского комплекса широко распространены богатые кальцием существенно амфиболовые разности, среди которых выделяются следующие основные типы: гранатовые, плагиоклазовые, куммингтонитовые, биотитовые амфиболиты; амфиболовые, биотит-амфиболовые, биотит-амфибол-цоизитовые часто с гранатом кристаллосланцы. Макро- и микроскопически определить их первичную природу достаточно сложно. Очень редко встречаются разности с бластопорфировой, диабазовой и габбро-офитовой структурой, что свидетельствует о принадлежности их к группе ортопород. В Становской зоне встречаются также мраморы, кварциты, хлоритовые, гранат-хлорит-слюдистые, парагонитовые кристаллосланцы, а также, по-видимому, глыбы в разной степени переработанных вторичными изменениями пород Восточного и Западного комплексов. Наиболее интересными и информативными для выявления термодинамических и палеогеодинамических условий метаморфизма являются серпентиниты и гранатовые амфиболиты.

Серпентиниты. Несмотря на то, что серпентиниты обычно рассматриваются как ультраосновные магматические породы, по своей сути это метаморфиты. Они слагают серию линзовидных тел, протягивающихся цепочкой в северо-восточном направлении вдоль долины р. Становой (рис. 1). Мощность отдельных линз не превышает первых сотен метров, а чаще измеряется их десятками. Углы падения замерить крайне сложно, так как в своей основной массе это массивные породы, хотя рассланцованные разности также присутствуют. Простирание и падение сланцеватости серпентинитов в западном направлении под углом около 50º указывает на некоторое согласие с общим планом дислокаций метаморфитов

Фаддеевского блока. Серпентинитовые тела сложены породами от темно-зеленого до фисташкового цвета разной текстуры и структуры. Большей частью они разбиты густой сетью трещин на мелкие линзовидные обломки. В массивных разностях иногда сохраняются реликты первичной структуры в виде сетки тонких прожилков магнетита, подчеркивающего границы бывших зерен оливинов и пироксена, а также трещинки спайности последних (рис. 2, А).



А **Б**

Рис. 2. Серпентиниты (А) и родингиты (Б): Cr – хромит, Gr – гранат, Vs – везувиан

Помимо серпентина, представленного как хризотилом, так и антигоритом, в них обычны карбонаты, хлориты, тальк, актинолит, тремолит, магнетит, хромит. Содержания последнего в некоторых разностях достигает 40-30%. В приконтактовых частях серпетинитовых тел широко развиты тальк-хлоритовые и хлорит-карбонатные метасоматиты, в том числе и хлорит-гроссуляровые, хлорит-гранат-везувиановые родингиты (рис. 2, Б). Встречаются также отдельные линзовидные тела внутри серпентинитов, не связанные с контактовыми зонами.

С целью восстановления исходных для серпентинитов пород был изучен их петрохимический состав и произведены пересчеты на миналы методом CIPW (табл.1). Анализ нормативного состава серпентинитов указывает на то, что исходными породами были дуниты (обр. 1, 2, рис. 3) и гагцбургиты (обр. 3-5, рис. 3). В их нормативном составе диопсид полностью отсутствует. Родингиты (обр. 8, 9, рис. 3) существенно отличаются от серпентинитов резким повышением содержаний кальция и алюминия, что связано с их метасоматизацией. Серпентиниты, представленные образцами 6 и 7, также обнаруживают в разной степени измененный первичный состав.

№ п/п	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
№ обр.	27-24	27-24a	34-1	34-1a	34-1b	34-5	34-7	34-9	34-12
SiO_2	25,62	25,70	36,40	36,51	37,10	28,89	37,20	37,30	36,76
TiO_2	0,34	0,35	0,10	0,09	0,11	0,07	0,20	0,14	-
Al_2O_3	13,20	12,00	4,73	4,70	4,80	17,02	20,71	21,72	17,05
Fe_2O_3	7,20	7,15	5,41	5,51	5,49	1,20	1,70	1,03	2,72
FeO	1,16	2,10	4,78	4,75	4,72	6,34	0,70	0,71	0,03
MnO	0,09	0,10	0,34	0,35	0,22	0,23	0,07	0,08	0,06
MgO	34,40	34,50	34,65	34,75	34,82	30,19	6,12	7,40	6,54
CaO	0,71	0,65	0,88	0,91	0,88	3,56	29,83	28,42	32,88
Na_2O	0,01	0,02	0,21	0,19	0,18	0,07	0,21	0,21	0,04
K_2O	0,01	0,01	0,24	0,21	0,19	-	0,18	0,18	0,04
P_2O_5	0,06	0,05	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,13
Cr_2O_3	5,04	5,12	-	-	-	-	-	-	-
ппп	12,70	11,80	11,01	11,02	11,01	13,00	3,40	2,69	4,32
Сумма	100,54	99,55	98,77	99,01	99,55	100,59	100,34	99,89	100,57
Нормы CIPW									
Cc	8,52	1,18	2,93	2,9	3,13	0,97	0	0	0
Or	0	0	1,62	1,41	1,27	0	0	0	0
Ab	0	0	2,02	1,83	1,72	0	0	0	0
An	3,78	3,51	4,83	4,98	4,71	15,23	51,78	50,2	45,21
Ne	0,06	0,11	0	0	0	0,37	5,51	0,99	0,19
Kp	4,49	4,23	0	0	0	11,46	11,02	7,8	2,41
Di	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hy	0	0	21,29	22,09	25,13	0	0	0	0
Ol	72,51	72,87	58,11	57,46	54,74	69,82	29,64	13,79	11,87
Cs	0	0	0	9,08	8,99	0	1,96	26,39	37,61
Mt	3,67	9,06	8,94	0	0	1,99	0,4	1,54	0,3
Cm	6,17	8,65	0	0	0	0	0	0	0
Hm	0,01	0	0	0,19	0,24	0	0	0	2,62
Il	0,78	0,7	0,22	0	0	0,15	0,39	0,03	0
Ap	0,17	0,14	0,05	0,05	0,08	0,05	0,05	0,02	0,03
Сумма	100,16	100,45	100,01	99,99	100,01	100,04	100,75	100,76	100,24

Табл. 1. Химический и нормативный состав серпентинитов и родингитов. Анализы выполнены в Химической лаборатории геологического ф-та МГУ. 1-6 – серпентиниты, 7-9 – родингиты

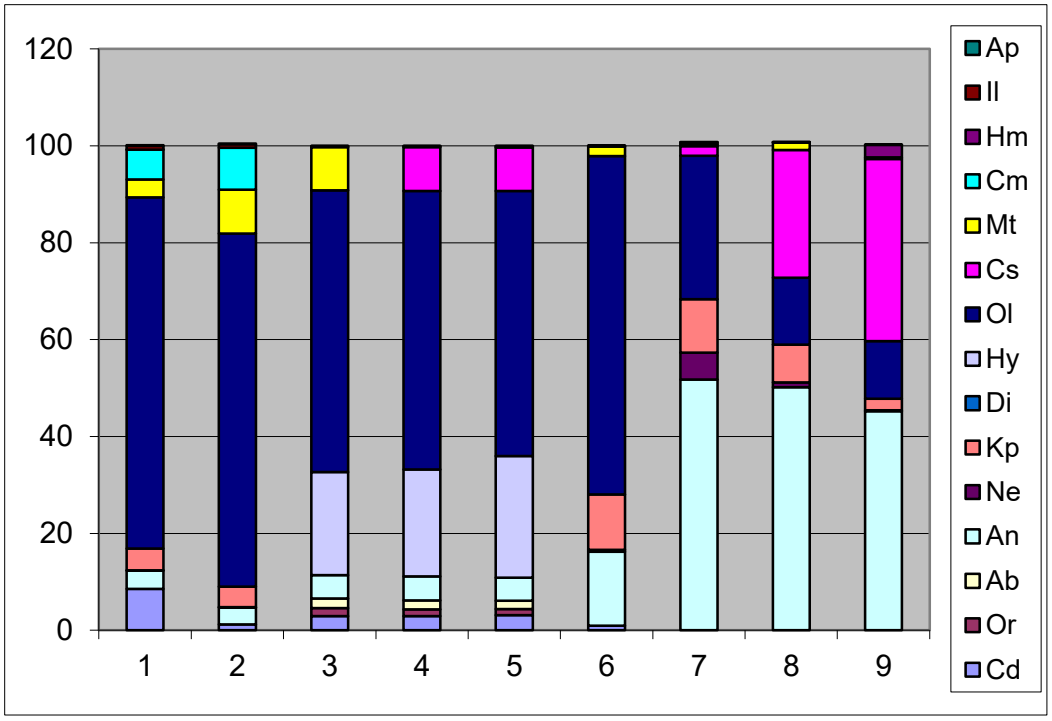


Рис. 3. Нормативный состав серпентинитов (1-6) и родингитов (7-9), в процентах. Ap-апатит, Il-ильменит, Hm-гематит, Cm-хромит, Mt-магнетит, Cs-дикальцийсиликат, Ol-оливин, Hy-гиперстен, Di-диопсид, Kp-калиофилит, Ne-нефелин, An-анортит, Ab-альбит, Or-ортоклаз, Cd-корунд

Амфиболиты и амфиболовые кристаллосланцы. Данный тип пород очень широко распространен в Становской зоне, довольно часто встречается в толще кристаллических сланцев и гнейсов, расположенных к востоку и практически отсутствует среди метаморфитов, обнажающихся к западу от нее.

Это массивные или полосчатые породы чаще темно-зеленого до черного цвета с прослоями мраморов и линзами кварцитов (рис. 4).

А **Б**

Рис. 4. Амфиболиты с прослоями мраморов (А) и линзами кварцитов (Б)

№ п/п	**1**	**2**	**3**	**5**	**6**	**4**	**7**	**8**	**9**
№ обр.	28(2)	33(4)	70(1)	28(1)	77(3)	71(2)	77(3д)	63(19)	63(20)
SiO_2	47,64	50,50	48,90	48,00	49,30	45,55	48,08	51,84	46,90
TiO_2	2,26	2,05	1,90	2,25	3,05	1,35	3,14	1,30	1,87
Al_2O_3	13,73	16,20	16,25	13,00	13,10	14,45	12,36	17,60	18,82
Fe_2O_3	2,65	2,15	2,60	11,20	0,98	2,05	2,91	2,33	3,50
FeO	11,60	8,88	8,50	4,74	13,80	10,80	12,36	7,07	8,37
MnO	0,16	0,16	0,14	0,24	0,18	0,20	0,10	0,11	0,16
MgO	7,35	5,20	4,55	5,10	5,30	10,32	5,73	4,57	5,10
CaO	8,99	8,56	7,65	9,12	6,80	9,55	8,10	7,50	8,85
Na_2O	2,82	3,09	4,20	3,29	3,37	2,15	3,62	3,06	3,50
K_2O	0,43	1,11	1,75	0,40	0,24	0,35	0,60	1,33	1,01
P_2O_5	0,17	0,33	0,18	0,26	0,44	0,09	0,05	0,18	0,20
ппп	2,46	1,30	2,50	1,96	2,80	2,60	2,33	2,25	1,51
Сумма	100,26	99,53	99,12	99,56	99,36	99,46	99,38	99,14	99,79
Нормы CIPW									
Q	0,00	0,78	0,00	6,26	0,91	0,00	0,00	3,76	0,00
Cd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Or	2,60	6,68	10,71	2,42	1,47	2,14	3,65	8,10	6,07
Ab	24,40	26,62	31,95	28,52	29,53	18,78	31,56	26,72	28,67
An	24,07	27,55	21,04	20,01	20,62	29,68	16,19	31,34	33,24
Di	16,79	11,12	2,62	19,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79
Hy	15,02	19,35	14,06	4,13	9,51	15,19	20,64	4,81	8,29
Ol	8,40	0,00	0,00	0,00	29,43	7,76	9,29	18,79	0,00
Mt	3,93	3,17	11,57	9,77	0,00	20,52	8,06	0,00	13,69
Hm	0,00	0,00	3,90	4,73	1,47	3,07	4,35	3,49	5,16
Il	4,39	3,96	3,73	4,38	6,00	2,65	6,14	2,55	3,61
Ap	0,41	0,80	0,44	0,63	1,08	0,22	0,12	0,44	0,48
Сумма	100,01	100,03	100,00	100,01	100,02	100,00	100,00	100,00	100,00

Табл. 2. Химический и нормативный состав гранатовых, плагиоклазовых и биотит-гранатовых амфиболитов. Анализы выполнены в Химической лаборатории геологического ф-та МГУ. Амфиболиты: 1-4 – гранатовые; 5-7 – плагиоклазовые: 8, 9 – биотит-гранатовые

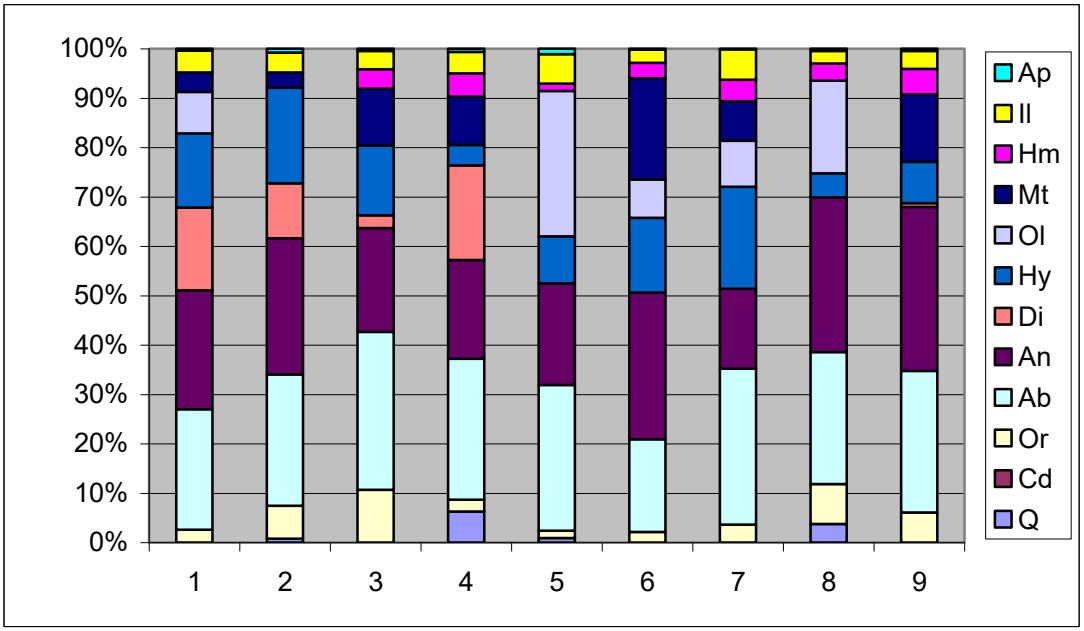


Рис. 5. Нормативный состав гранатовых (1-4), плагиоклазовых (5-7) и биотит-гранатовых (8, 9) амфиболитов, в процентах. Ap-апатит, Il-ильменит, Hm-гематит, Cm-хромит, Mt-магнетит, Cs-дикальцийсиликат, Ol-оливин, Hy-гиперстен, Di-диопсид, Kp-калиофилит, Ne-нефелин, An-анортит, Ab-альбит, Or-ортоклаз, Cd-корунд

Наибольший интерес представляют гранатовые и биотит-гранатовые амфиболиты – темно-зеленые, почти черные, мелко-, среднезернистые (0,2-3 мм) породы с порфиробластами (до 4 мм) розового и буровато-розового граната, содержание которого составляет до 20-30% (рис. 6).

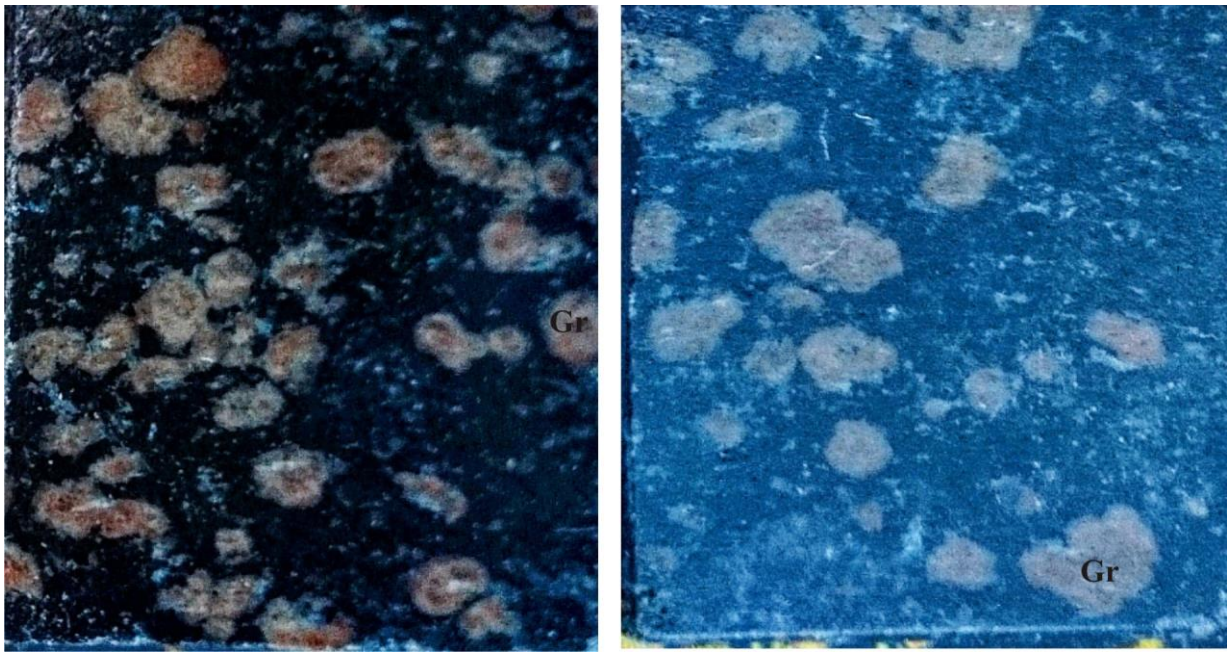


Рис. 6. Штуфы гранатовых амфиболитов. Gr – гранат

Характерной особенностью пород этой группы являются реакционные взаимоотношения минералов (рис. 7). По контактам биотита, амфибола и плагиоклаза часто развивается гранат. Иногда по биотиту сначала образуется амфибол, а затем по амфиболу с плагиоклазом – гранат. Сам плагиоклаз в свою очередь замещается агрегатами альбита, цоизита, кварца, иногда дистена и параганита. В шлифах фиксируются следующие природные реакции:

Amph+Pl → Gr+Zo+Q; Bi+Pl → Gr+Q; Bi → Amph → Amph+Pl → Gr;Amph+Bi+Pl → Gr+Q ;Pl → Zo+Ab+Q; Pl → Zo+Ab+Dist+Q; Amph+Pl → Gr+Zo+Dist+Q.

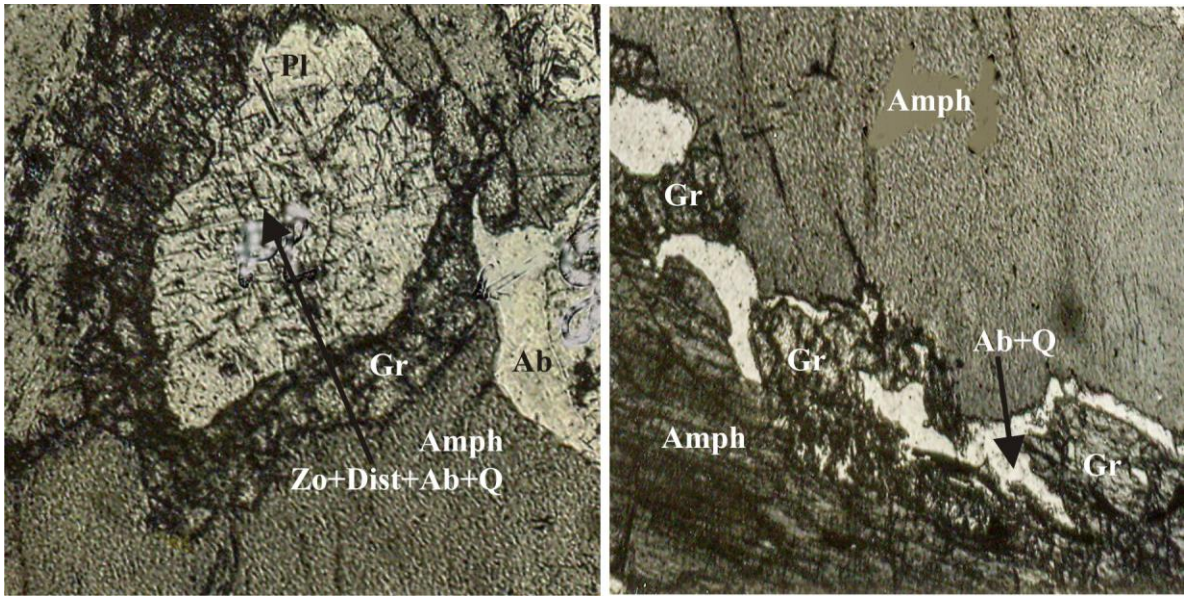


Рис. 7. Реакционные взаимоотношения минералов в гранатовых амфиболитах. Amph – амфибол, Pl – плагиоклаз, Gr – гранат, Zo – цоизит, Dist – дистен, Q – кварц Ab – альбит

Термодинамические расчеты с учетом химического состава природных минералов показали, что данные реакции свидетельствуют о резком повышении давления при их метаморфизме, которое может превышать 10 кбар [Белов, Демина, 1980]. Отметим, что за пределами Становской зоны давления метаморфизма существенно ниже. Максимальные температуры, рассчитанные по составам сосуществующих гранатов и амфиболов, также более низкие и находятся в интервале 550-580ºС.

В метаморфитах Фаддеевского блока очень широко проявлены вторичные изменения в виде мусковитизации, фибролитизации, хлоритизации, эпидотитзации, актинолитизации, окварцевания, связанные со стадией кислотного выщелачивания. При этом исходные богатые кальцием породы превращаются в хлорит-эпидот-актинолит-альбитовые, а бедные кальцием – мусковитовые, часто с парагонитом, и хлорит-мусковитовые сланцы. Окварцевание развито практически повсеместно и выражается в кристаллизации кварца по

краям зерен и трещинкам. Интенсивное окварцевание и выщелачивание проявлены неравномерно и приурочены, вероятно, к ослабленным зонам. Они сопровождаются сульфидным оруденением халькопирит-пирротинового типа с незначительным содержанием пирита, как, например, в районе оз. Поперечное [Белов, Демина, 1980].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метаморфизм Восточного и Западного комплексов Фаддеевского блока по соотношению температуры и давления относится к кианитовой серии, характерной для континентальной коры складчатых областей как фанерозоя, так и протерозоя [Абрамович и др. 1997]. Глубинность метаморфизма (16-23 км) соответствует, скорее всего, нижней части верхней коры, поскольку процессы дегидратации амфиболов и биотитов с образованием двупироксеновых минеральных парагенезисов гранулитовой фации в породах не зафиксированы. Отчетливая зональность в пределах Фаддеевского блока отсутствует, хотя отличия в степени метаморфизма Восточного и Западного комплексов устанавливаются достаточно уверенно. По мнению И.И. Абрамовича и др. [1997] субстратом для метаморфизма кианитовой серии служат вулканогенно-терригенные отложения внутри- и окраинно-континентальных бассейнов. Их глубокое прогибание в сочетании со складчатыми деформациями в условиях нормального температурного градиента континентальной коры приводит к метаморфизму подобного типа.

Метаморфизм Становского комплекса характеризуется высокими давлениями и относительно низкими температурами. Серпентиниты и ассоциирующие с ними амфиболиты (первичные базальты), метадолериты, метагаббро и кварциты (первичные кремнистые породы) В.П. Беловым и Л.И. Деминой [1980] были отнесены к фрагментам офиолитовой ассоциации по аналогии с Челюскинской, описанной Р.Ш. Залялеевым и В.В. Беззубцевым [1975]. Впоследствии эта точка зрения получила свое развитие в работах В.В. Беззубцева и др., [1986[, В.А. Верниковского [1996] и других. Встает вопрос о том, как фрагменты офиолитовой ассоциации могли оказаться внутри метаморфических толщ древней континентальной коры? Наиболее достоверным процессом является их интродукция по контакту двух отличающихся по составу толщ. Морфология серпентинитовых тел, ограниченность разрывными нарушениями, наличие фрагментов вмещающих толщ окружающих метаморфитов внутри Становского комплекса, характер метаморфизма, минеральные парагенезисы вторичных преобразований вполне соответствуют признакам интродукции, приведенным в работе И.Н. Семейкина [2017], а не традиционной обдукции офиолитов.

ВЫВОДЫ

1. В пределах Фаддеевского блока выделены три метаморфических комплекса, отличающихся по составу и степени метаморфизма: Западный, Восточный и Становской.

2. В момент метаморфизма толщи Западного комплекса располагались на больших глубинах, чем Восточного. Подтверждением этому является также и более интенсивная гранитизация пород западной части блока.

3. Становской комплекс разграничивает различающиеся как по составу, так и по степени метаморфизма толщи и образовался в результате интродукции офиолитов в континентальную кору.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абрамович И.И., Залепугин В.М., Аплонов С.В. и др. Основы геодинамического анализа при геологическом картировании. МПР РФ, ВСЕГЕИ, ГЕОКАРТ, МАНПО, 1997. 518 с.

Беззубцев В.В., Залялеев Г.Ш., Сакович А.Б. и др. Геологическая карта Горного Таймыра М-б 1:500 000: Объясн. зап. Красноярск: ККИ, 1986. 177 с.

Белов В.П., Демина Л.И. Условия метаморфизма докембрия Восточного Таймыра // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 1980. № 9. С. 38–47.

Верниковский В.А. Геодинамическая эволюция Таймырской складчатой области. Новосибирск: СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1996. 201 с.

Забияка А. И., Забияка И. Д., Верниковский В. А. и др. Геологическое строение и тектоническое развитие северо-восточного Таймыра. Новосибирск: Наука, 1986. 144 с.

Залялеев Г.Ш., Беззубцев В.В. О Челюскинском гипербазитовом поясе (Восточный Таймыр) // Геология и геофизика. 1975. № 12. С. 132–133.

Качурина Н.В., Макарьев А.А., Макарьева Е.М. и др Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Лист T - 45-48 (м. Челюскин). СПб: ВСЕГЕИ, 2013. 472 с.

Кузьмичев А.Б., Данукалова М.К. Фаддевский «террейн» и Становской офиолитовый пояс Таймыра: проблемы геологической интерпретации по опубликованным данным и полевым впечатлениям 2016 г. // Геодинамическая эволюция Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Вып. 14. С. 164–166.

Кузьмичев А.Б., Данукалова М.К. Центрально-Таймырский складчатый пояс в докембрии: пассивная окраина Сибирского палеоконтинента в мезопротерозое, активная окраина в неопротерозое // Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии. Матлы L Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2018. С. 352–356.

Погребицкий Ю.Е. Палеотектонический анализ Таймырской складчатой системы. Л.: Недра, 1971. 284 с.

Проскурин .В.Ф., Верниковский В.А., Метелкин Д.В. Риолит-гранитная ассоциация Центрально-Таймырской зоны: свидетельство аккреционно-коллизионных событий в неопротерозойское время // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 1. С. 23–40.

Семейкин И.Н. Структурные позиции офиолитов в земной коре и признаки их поступления // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2017. Т. 40. № 3. С. 61–69.

Равич М. Г., Погребицкий Ю. Е. Стратиграфическая схема докембрия Таймыра // Проблемы геологии и минеральных ресурсов Таймыра // Северной Земли и севера Среднесибирского плоскогорья. Тр. НИИГА. Т. 145. Л.: Недра, 1965. С. 13–26.

Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов. М.: Научный мир, 2001. 606 с.

УДК 551.1/.4

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО МЕТОДА ДЛЯ КОРРЕЛЯЦИИ РИФЕЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ КУЮМБИНСКОЙ ЗОНЫ НЕФТЕГАЗОНАКОПЛЕНИЯ (БАЙКИТСКАЯ АНТЕКЛИЗА, СИБИРСКАЯ ПЛАТФОРМА)

Солодкова Н.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Для определения относительного возраста древних (в частности рифейских) продуктивных на нефть и газ толщ, более дробного их расчленения, выявления последних в соседних районах и сопоставления их между собой, был применен метод термолюминесцентного (ТЛ) высвечивания карбонатных пород. Изученные отложения проявили различные ТЛ свойства, на основе чего они были разделены на пачки с соответствующей интенсивностью (J) ТЛ свечения в условных единицах (усл. ед.), что позволило, с учетом данных предыдущих исследований [Солодкова, Немировская, Васильев, 1974; Солодкова, 1983,1985], построить шкалу относительного возраста и пользоваться ею при расчленении и сопоставлении отдельных разрезов, вскрытых скважинами глубокого бурения в пределах Куюмбинской зоны нефтегазонакопления (рис. 1).

Породы изученных разрезов сложены в основном доломитами. Доломиты от светло- до темно- и коричневато-серого цвета, реже светло-зеленовато-серые, мелко-, тонкокристаллические до среднекристаллических, плотные, трещиноватые, иногда с незначительной примесью терригенного материала, со стилолитовыми швами, неяснослоистые, участками тонкоплитчатые с тончайшими пропластками серых и серовато-зеленых аргиллитов и зеленых алевролитов. В разрезах скважин К-1 и К-9 доломиты своеобразно перекристаллизованы. В них отмечается наличие многочисленных прожилок, линз и гнезд, выполненных доломитом и ангидритом, иногда халцедоном. В разрезе скв. К-5 доломиты слабо мраморизованы и окварцованы.

Интенсивность ТЛ свечения фиксировалась на приборе УТЛ-1, который предназначен для регистрации количественной люминесценции минералов и горных пород при нагревании ниже красного каления (350–400° С) и выражена в виде кривой с одним или несколькими максимумами в определенных интервалах температур: 190–210, 220–240, 250–290, 295–340° С.

Постоянно и на всех кривых проявился максимум в интервале 250–290° С – первый высокотемпературный максимум, он назван основным, по нему определялась сравнительная интенсивность ТЛ свечения. Остальные максимумы (второстепенные): два низкотемпературных (190–210, 220–240° С) и второй высокотемпературный (295–340° С) проявились не на всех ТЛ кривых и, как правило, попеременно, имеют интенсивность свечения меньшую, чем у основного максимума, часто выглядят как уступы и придают ТЛ кривым асимметричную форму (рис. 2).

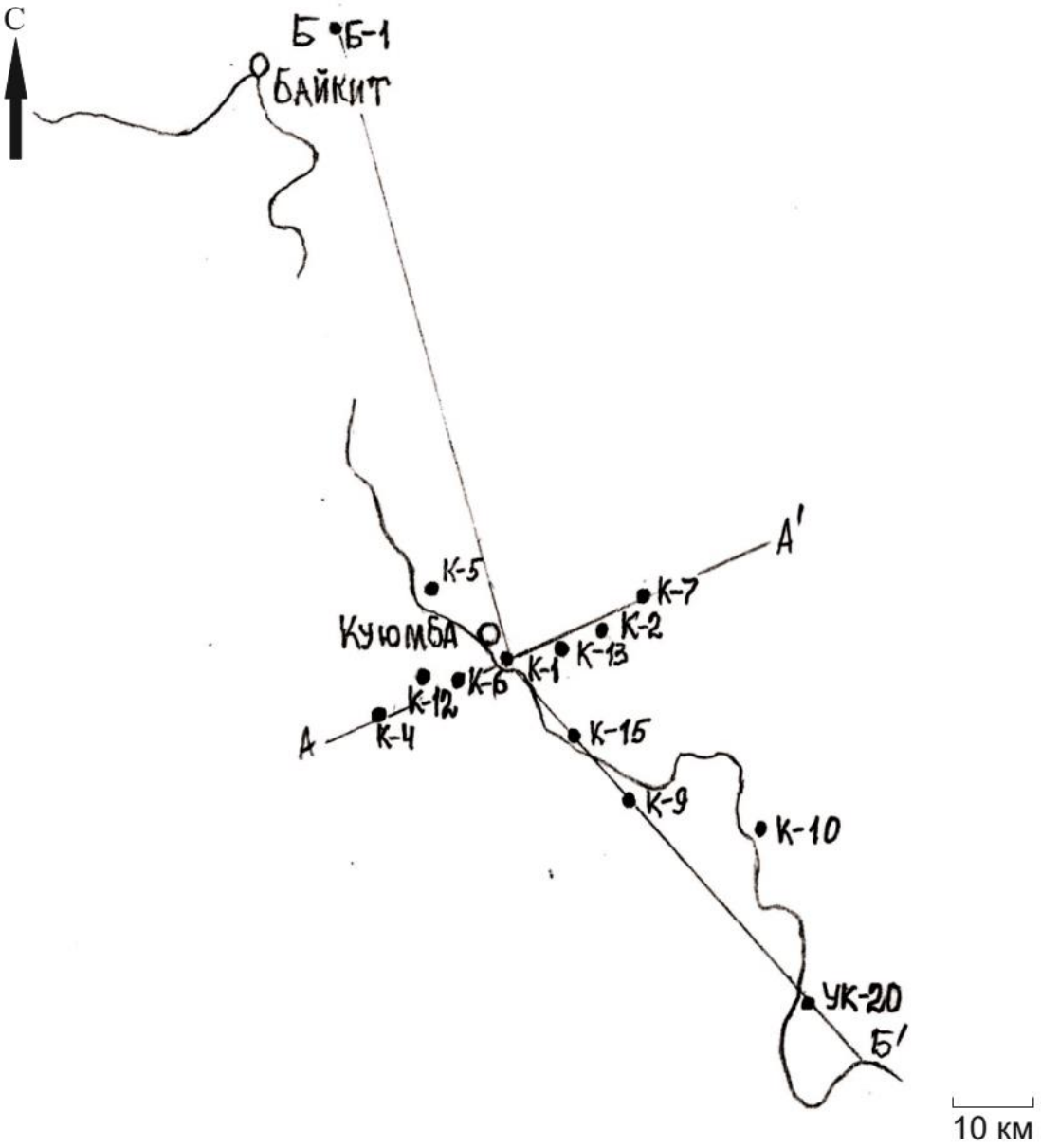


Рис. 1. Схема расположения изученных скважин Куюмбинской зоны нефтегазонакопления

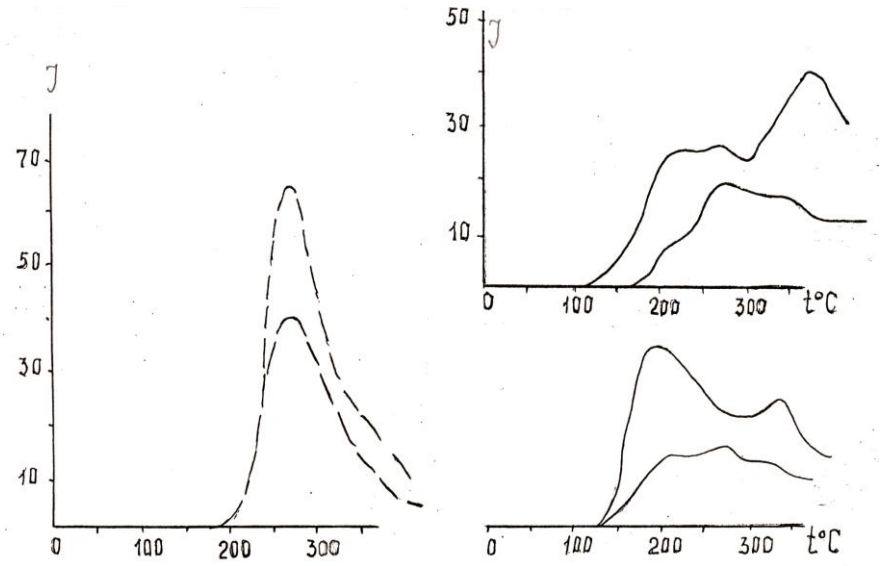


Рис. 2. Характерные формы термолюминесцентных кривых рифейских пород из разрезов скважин Куюмбинской зоны нефтегазонакопления

По ТЛ свойствам рифейские породы в изученных разрезах разделились на пачки (снизу вверх): I, II, III, и IV с интенсивностью ТЛ свечения (закономерно снижающейся снизу вверх по разрезу) соответственно: 200–580, 50–200, 20–120 и 6–51 усл. ед. В некоторых разрезах породы пачки IV по интенсивности свечения четко подразделяются на 2 подпачки – IV_1 и IV_2 с интенсивностью свечения, соответственно, 11–43 и 6–29 усл. ед.

Полученные результаты ТЛ исследований позволили провести корреляцию разрезов, вскрытых скважинами на Куюмбинской поисковой площади как расположенных рядом, так и удаленных друг от друга на значительные расстояния (рис. 3).

Пачка I выделена в разрезах скважин К-6, К-10, УК-20 с интенсивностью ТЛ свечения основного максимума от 200 до 580 усл. ед. Вскрытая мощность пачки различна и колеблется от 250 (скв. К-6) до 632 (скв. УК-20) метров. Во всех указанных разрезах подошва пачки I ограничивается забоем (контакт с породами кристаллического фундамента не вскрыт) на глубинах: К-6 – 2870 м, К-10 – 3251 м, УК-20 – 2804 м. Кровлей пачки I являются: в скважине К-10 – основание пачки II на глубине 2920 м, в скважине К-6 – основание пачки IV на отметке 2611 м, в скважине УК-20 – подошва вендских отложений.

Пачка II выделилась в разрезах скважин К-10 и К-12 с интенсивностью ТЛ свечения пород 50–200 усл. ед. В скважине К-10 пачка II ограничена снизу пачкой I (глуб.2920), а сверху пачкой III (глуб. 2610 м) и имеет мощность 310 м. В скважине К-12 пачка II (мощность 104 м) находится не на своем месте – она расположена над подпачкой IV_1 на

глубине 2260 м, кровлей ее являются породы венда на отметке 2156 м. Необычное положение пачки II в скважине К-12 связано, по-видимому, с тем, что в результате тектонических нарушений в предвендское время, в приразломной зоне произошло надвигание более древних слоев пачки II на молодые, т.е. на породы подпачки IV_1.

Породы пачки III выделены в разрезах скважин: К-9, К-12 и К-13 с интенсивностью ТЛ свечения 20–120 усл. ед. В скважинах К-9 и К-12 (мощность составляет соответственно 283 и 430 м) основанием пачки служит забой на глубинах 2802 и 3021 м, а кровлей породы – подпачки IV_1 на отметках 2520 и 2350 м. В скважине К-13 пачка III включает весь вскрытый разрез (мощность 171 м) от забоя – глубина 2400 м, до кровли – глубина 2229 м.

В пачку IV выделены породы разрезов скважин К-6 (мощность 461 м) и К-7 (мощность 535 м) с интенсивностью ТЛ свечения 6–51 усл. ед. В разрезе скважины К-6 пачка IV расположена над пачкой I (глубина 2611 м), пачки II и III выпадают. Сверху она перекрывается породами венда (глубина 2150 м). В скважине К-7 подошва пачки IV ограничивается забоем на глубине 2872 м, а кровля – породами венда на отметке 2337 м.

Породы подпачки IV_1 выделены в разрезах скважины К-2 (мощность 258 м), К-9 (мощность 346 м) и К-12 (мощность 90 м), а породы подпачки IV_2 – в разрезе скважины К-1 (мощность 404 м) и имеют интенсивность ТЛ свечения, соответственно 11–43 и 6–28 усл. ед. В разрезах скважин К-9 и К-12 подпачка IV_1 расположена над пачкой III (глубина 2520 и 2350 м) и перекрывается в скважине К-9 вендскими отложениями на отметке 2174 м, а в скважине К-12 породами пачки II на глубине 2268 м. В скважине К-2 весь вскрытый разрез до глубины 2500 м представлен породами подпачки IV_1, кровлей здесь являются вендские породы (глубина 2242 м). Весь вскрытый скважиной К-1 разрез до глубины 2568 м по ТЛ свойствам отнесен к подпачке IV_2, кровлей ее являются отложения венда на глубине 2156 м.

В разрезах скважин К-1, К-2, К-9 в пачках III и IV (IV_1, IV_2) имеет место нефтегазопроявление.

Таким образом, применение термолюминесцентного метода позволило расчленить разрезы рифейских карбонатных пород изученных скважин на пачки и сопоставить их между собой (рис. 3). В разрезе скважины К-6 выявлено несогласие – на породах пачки I залегают породы пачки IV, а пачки II и III выпадают. В скважине К-12 наблюдается надвигание пород пачки II на породы подпачки IV_1. Это, по-видимому, можно связать с активными тектоническими процессами в пределах Сибирской платформы, в результате которых произошли как горизонтальные, так и вертикальные движения. На предвендскую поверхность были подняты разновозрастные рифейские горизонты – вендские отложения во

всех изученных разрезах несогласно залегают на породах пачек: I, III и IV (IV_1, IV_2), а в скважинах К-4 и Б-1 – на породах кристаллического фундамента.

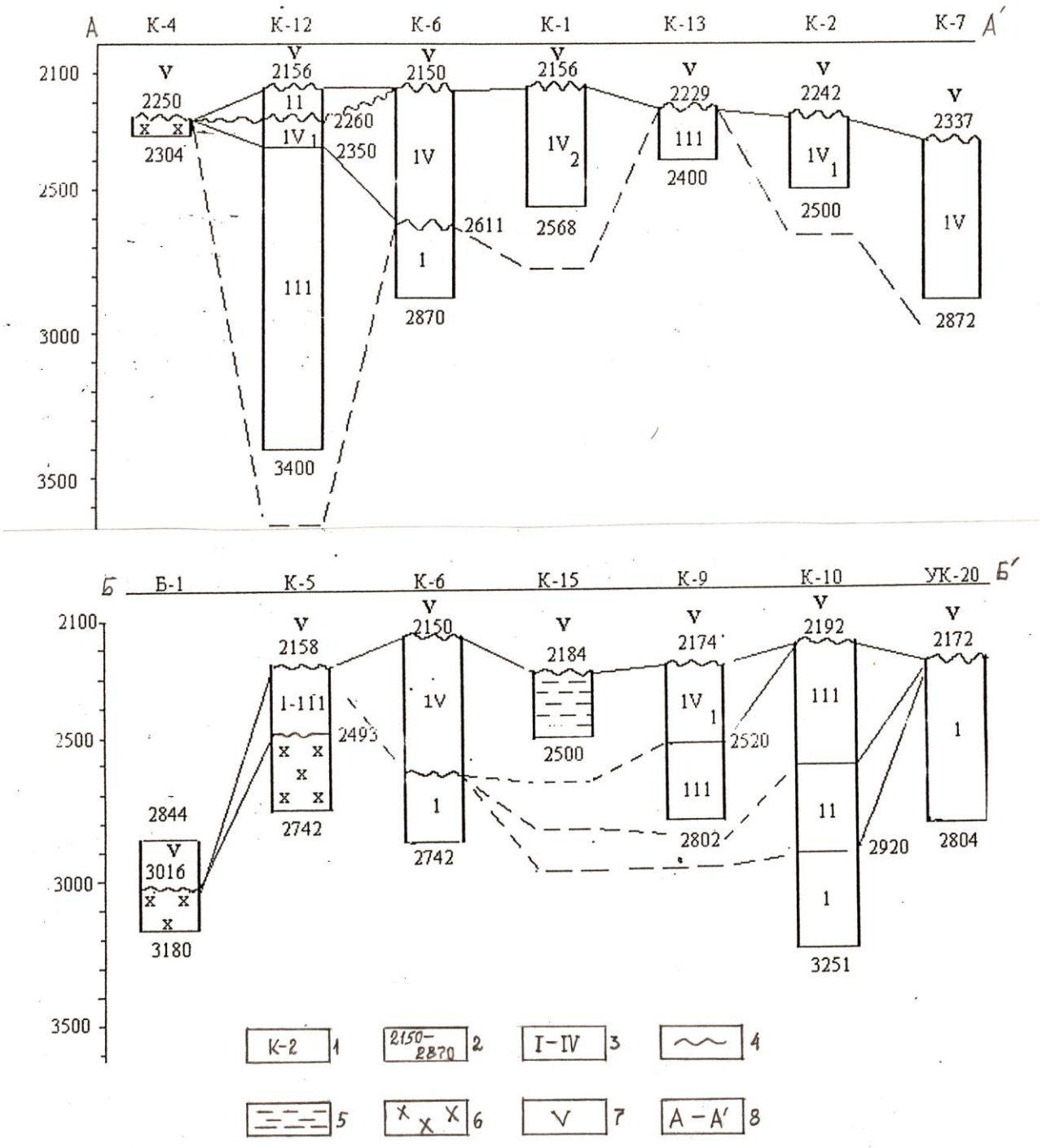


Рис. 3. Схемы сопоставления рифейских отложений Куюмбинской зоны нефтегазонакопления по результатам термолюминесцентного анализа по линиям А-А´ и Б-Б´: 1 - номера изученых скважин; 2 – интервалы глубин; 3 – номера пачек, выделенных по термолюминесцентным данным; 4 – линии перерыва; 5 – терригенные породы; 6 – породы кристаллического фундамента; 7 – отложения венда; 8 – линии сопоставления разрезов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Солодкова Н.А., Немировская В.Н., Васильев Ф.И. Расчленение и корреляция рифейско-вендских отложений Енисейского кряжа, Канско-Тасеевской впадины и Манского прогиба на основе изучения их ТЛ свойств и органических остатков. М.: фонды ВГФ. 1974. 325 с.

Солодкова Н.А. Опыт корреляции позднедокембрийских и нижнекембрийских отложений Байкитской антеклизы на основе термолюминесцентного метода. V региональная научно-практическая конференция // Тезисы докладов краевой конф. «Геология и нефтегазоносность Красноярского края» 15-16 декабря 1983. Красноярск. 1983. С. 63-64.

Солодкова Н.А. Корреляция позднедокембрийских отложений юго-западной части Сибирской платформы по данным термолюминесцентных исследований // Тезисы VII региональной научно-практическая конф. «Итоги и направление поисковых работ на нефть и газ в Красноярском крае» 11-13 декабря 1985. Красноярск. 1985. С. 61-62

УДК 551. 1/.4

МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ КИНЕМАТИКИ ДИСКРЕТНЫХ БЛОКОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ GNSS И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФЛЮИДНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ

Симонов Д.А., Захаров В.С.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

В настоящее время внимание привлекают геодинамические последствия освоения месторождений углеводородов, такие как аномальные деформации земной поверхности и проявление сейсмичности в районах нефтегазодобычи. Известны случаи аномальных (более 1 м.) деформаций земной поверхности на длительно разрабатываемых нефтяных и газовых месторождениях в США, Венесуэле, на Северном море и в других регионах, что чаще всего связывается с извлечением жидкости из резервуара и снижением пластового давления. Зарегистрированы случаи проявления землетрясений, в районах освоения месторождений углеводородов в США, Канаде, Франции, России, Туркменистане, Узбекистане и других регионах. Во многих случаях установлена связь процессов подготовки этих событий с процессами разработки месторождений нефти и газа. В связи с этим на месторождениях углеводородов создаются геодинамические полигоны. В основном создание таких полигонов осуществляется в целях обеспечения промышленной безопасности и охраны недр, что предписывается нормативными документами Ростехнадзора. К настоящему времени основными методами наблюдений на геодинамических полигонах в пределах месторождений углеводородов являются геодезические (в первую очередь повторное нивелирование), гравиметрические, геохимические и, в очень редких случаях, сейсмологическими измерениями. Данные методы являются достаточно дорогостоящими, требуют привлечения значительных человеческих ресурсов и требуют значительного времени. В связи с этим на некоторых месторождениях устанавливаются геодинамические полигоны, функционирующие на основе методов спутниковой геодезии (высокоточного определения координат и высот по данным глобальных навигационных спутниковых систем). Однако на данный момент геодинамические полигоны, создаваемые в пределах месторождений, практически не используются для анализа геологического строения месторождений, деформаций и движений, связанных с тектоническими факторами, что может способствовать построению более детальных и обоснованных моделей строения таких месторождений. Слабо анализируются горизонтальные движения и деформации, позволяющие получить дополнительную информацию о геодинамических процессах и строении месторождений. Анализ более крупных, выходящих за пределы отдельных

месторождений, региональных геодинамических полигонов, что стало доступнее с развитием глобальных навигационных спутниковых систем, может дать дополнительную информацию о тектоническом положении месторождений, их блоковом строении, современной кинематики блоков и современных тектонических процессах в в пределах месторождений, контролирующих миграцию флюида. Отработанных методик такого анализа на настоящий момент не существует.

Нами предлагаются оригинальные методики выявления дискретных движений блоков земной коры на основании анализа данных глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS) [Захаров, Симонов, 2010]. В предлагаемых нами методиках основой выделения стабильных на современном этапе участков земной поверхности, интерпретируемых как блоки земной коры, является анализ однородного поля скоростей смещений точек земной поверхности (постоянно действующих станций глобального позиционирования), представленных в единой геодезической системе координат, с последующим подтверждением границ таких блоков на основании комплексного анализа имеющейся для изучаемого района геологической, геоморфологической, сейсмологической, геофизической и другой информации. Базовым параметром для выделения блока является в первую очередь его кинематическая стабильность и однородность. Выявляемые границы таких блоков, или области взаимодействия соседних стабильных, кинематически однородных блоков могут интерпретироваться как зоны повышенной активности и проницаемости. Для анализа скорости отдельных пунктов GPS применялись стандартные методы расчета положения эйлеровых полюсов по данным о линейной скорости [Зоненшайн, Кузьмин, 1992; Кокс, Харт, 1989].

Разработанные нами методики базируются на анализе движений на поверхности сферы, так как прямые векторные операции со значениями скорости пунктов GNSS в локальной системе координат могут привести к существенным ошибкам при анализе дифференциальных движений.

Движения небольших блоков земной коры достаточно сложные, и их можно представить, как вращение вокруг различных полюсов, подобранных тем или иным методом; как вращение вокруг внутренней оси; или как комбинацию обоих типов движения. Так как расчет из однородного поля скоростей по всем трем типам движения слишком сложен, то в качестве допущения принимается, что блоки осуществляют поступательное движение по поверхности сферы, то есть их внутреннее вращение является незначительным. Разработаны алгоритмы, позволяющие выделять наборы точек («кластеры»), которые совершают согласованное движение вокруг общего (единого) эйлерова полюса и имеющих

одинаковую угловую скорость (в пределах заданных ошибок). Эти наборы точек и интерпретируются нами как жесткие кинематические блоки, при этом критерием служит именно согласованность движения. Обоснование такого кинематически однородного блока в качестве жесткого стабильного блока земной коры требует внимания исследователя-эксперта и ручного исправления ошибок этого рода с применением комплексного анализа территорий.

Отработка и тестирование разрабатываемых методик проводится в регионах с разной степенью геодинамической активности. В первую очередь использовались данные геодинамически активных полигонов с высокой плотностью сетей опорных станций GNSS (в основном NAVSTAR GPS) [Симонов, Захаров, 2015]. Таких полигонов в мире, в настоящее время, не очень много. Наиболее качественными и плотными являются сети, поддерживаемые Сейсмологической Службой Южной Калифорнии (SCEC), Японским метеорологическим агенством (JMA), а также геодинамические полигоны в Киргизии, Северной Италии и др. Причем свободно доступны только данные SCEC и JMA. Однако следует отметить, что сети опорных станций постоянно растут, и в настоящее время количество станций для ряда территорий достигли такой плотности, что данные этих сетей можно использовать для анализа современной кинематики крупных структур, таких, как платформы.

Описанный выше подход дал хорошие результаты в геодинамически активных регионов с высокими скоростями движений. Причем было показано, что на основании визуального анализа поля скоростей данные блоки было выделить невозможно.

Основным регионом с активной геодинамикой для тестирования методик была выбрана Южная Калифорния. Этот район отличается очень хорошей и детальной геологической изученностью и по нему имеется большое количество различных высококачественных данных, позволяющих проводить комплексный анализ. Сеть станций глобального позиционирования здесь одна из самых плотных в мире. В результате для Южной Калифорнии удалось построить согласованную модель блокового строения, отвечающую общему структурному плану и геодинамике выбранной территории [Симонов, Захаров, 2015]. Было показано, что откартированные разрывные нарушения далеко не всегда отражают границы кинематически однородных, на современном этапе, участков земной коры. Более того, попытки проводить границы блоков исключительно по разрывным нарушениям, как это делалось ранее [McCaffe, 2005; Meade, Hager, 2005], могут привести к потере чрезвычайно важной информации о современной кинематике и напряженном состоянии вдоль разломов, которая может быть использована для прогнозирования

катастрофических событий, а также для выявления участков земной коры с более высокой проницаемостью на современном этапе.

Следует отметить, что точное определение границ кинематически однородных блоков вызывает требуют кропотливого комплексного анализа дополнительной информации. В частности, для Южной Калифорнии была предпринята попытка подтверждения границ выделяемых блоков при помощи структурно-геоморфологического анализа [Симонов, и др., 2015]. В результате проведенного анализа удалось подтвердить часть границ по геоморфологическим данным. Часть границ были откорректирована и они могут считаться подтвержденными. Однако отработку методов и комплекса исследований для геологического подтверждения границ блоков и граничных областей необходимо продолжить.

Большое количество месторождений нефти и газа расположены в пределах относительно стабильных регионов. Основные сложности применения методик определения современной кинематики дискретных блоков земной коры в пределах платформ, могут быть связаны в первую очередь с тем, что и относительные и абсолютные скорости движения земной поверхности в их пределах значительно, часто в разы, ниже скоростей в геодинамически активных регионах. Вследствие этого гораздо большее влияние на выделение кинематически однородных блоков могут оказывать различные ошибки измерений, связанные как с точностью самих измерений, так и с конструктивными особенностями референцных станций, на которых эти измерения проводятся. Данные ошибки могут быть не столь значительными в абсолютном выражении, но в процентом выражении, в связи с невысокими собственными скоростями точек поверхности, могут оказывать сильное влияние на получаемую блоковую модель, значительно большее, чем в активных регионах с высокими скоростями. В связи с этим значение критериев качества и однородности используемой сети постоянно действующих станций GNSS значительно возрастает. При тестировании разработанной нами методики для гединамически стабильных областей нами была выбрана сеть станций, поддерживаемых Международной Службой Глобальных Навигационных Систем (IGS) и являющихся основой международной референцной сети ITRF. Для геодинамически стабильных областей данная сеть наиболее представительна в пределах Североамериканской платформы, где количество станций IGS более трехсот. Это наиболее плотная сеть в пределах платформ в мире, по которой возможно свободно получить данные по скоростям движений пунктов относительно сети ITRF.

В пределах Северо-Американской платформы удалось уверенно выделить 4 кинематически однородных блока (рис.1). Наиболее крупный блок, охватывающий практически всю территорию платформы к западу от рек Миссисипи и Огайо и к югу от

границы Канады и США (блок №1). Полюс вращения для этого блока находится в той же области, в которой большинством исследователей [Altamimi et al.,2002; Beavan et al., 2002; Marquez-Azua, DeMets, 2003; Fernandes et al., 2004] определяется полюс вращения для Северо-Американской платформы. Тот же полюс вращения имеет еще один консолидированный кинематически однородный кластер, который гораздо меньше предыдущего, и расположен вдоль восточного побережья США в пределах штатов Коннектикут, Массачусетс, Нью Гемпшир и Мэн, а также провинции Нью Брансуик Канады. Выделение данного блока требует дальнейшего, более детального изучения, т.к. можно предположить, что появление этого кинематически однородного кластера при анализе может быть связано с погрешностями определения векторов скорости, и без убедительного подтверждения его по геологическим и геоморфологическим данным его нельзя уверено интерпретировать как именно как блок земной коры.

Между описанными выше блоками выделяется достаточно крупный блок (блок №2), объединяющий пространство, занимаемое практически всеми штатами восточного побережья США к западу от рек Миссисипи, Огайо и Великих озер (рис.1). Граница между данным блоком, и блоком, занимающим центральную и юго-западную часть платформы наиболее интересна с точки зрения флюидной проницаемости. Граница проходит по линейной зоне, проходящей через спрямленный участок долины реки Миссисипи северо-восточного простирания в ее среднем течении (вдоль Рилфутской рифтовой зоны), и уходящей дальше к северо-востоку, к озерам Эри, Онтарио и далее к заливу св. Лаврентия, имеющему то же простирание. К этой зоне приурочены две линейно вытянутых зоны повышенной сейсмичности, одна из которых, по данным каталога сейсмичности Геологической службы США за 2000-2012 годы приурочена к заливу св. Лаврентия, а вторая простирается вдоль спрямленной части долины Миссисипи в районе слияния с рекой Онтарио (известная Нью-Мадридская сейсмическая зона).

К данной зоне в пределах штата Огайо приурочен ряд месторождений нефти и газа (рис. 2). Границы зоны контакта блоков, на данном этапе, проведены как предполагаемые т.к. требуют уточнения с применением морфометрических и структурно-геоморфологических методов. Однако предварительно можно отметить, что к данной зоне тяготеют продуктивные скважины Иллинойского нефтегазоносного бассейна, в то время, как удаленные от зоны контакта скважины в большинстве случаев, являются сухими (рис. 2).

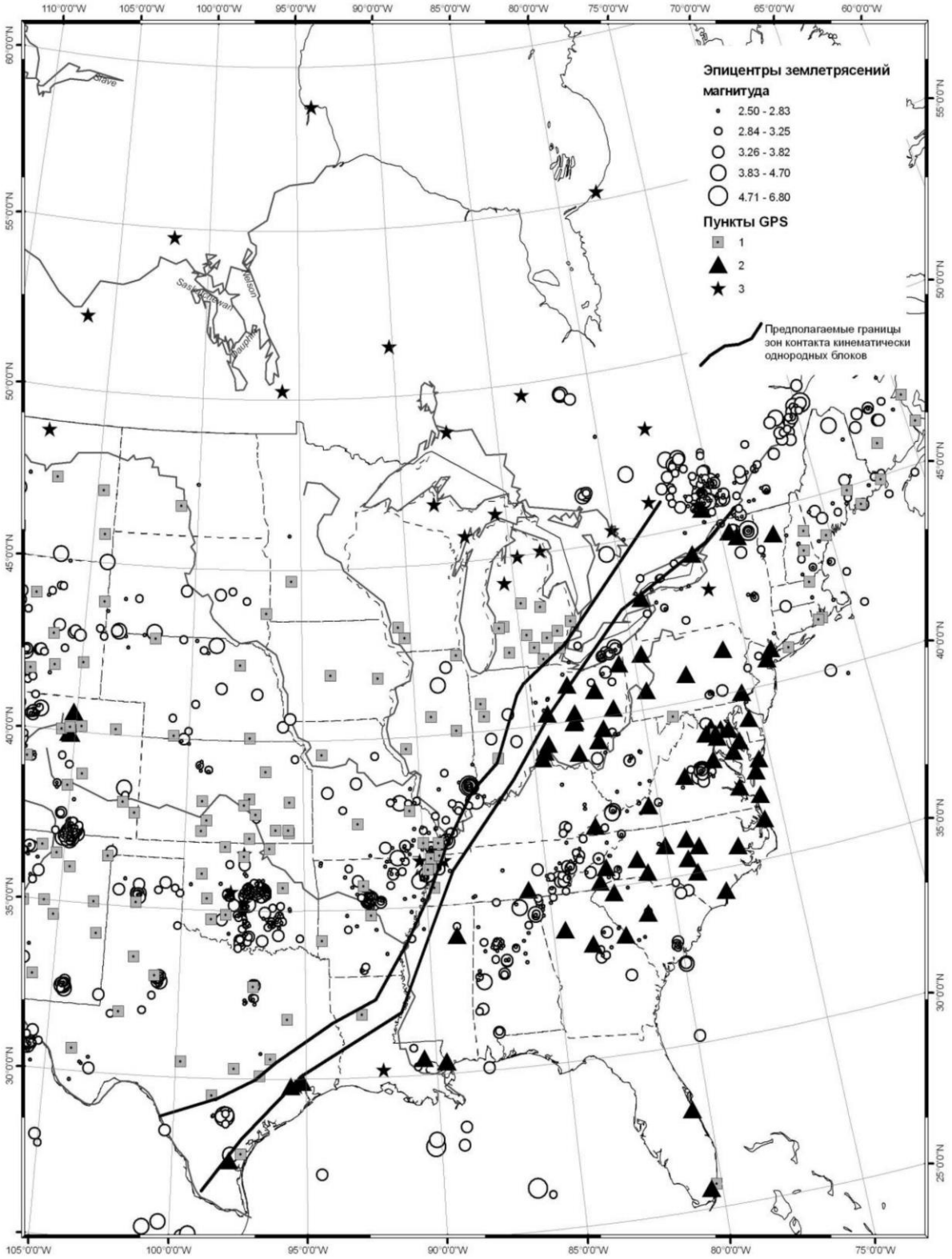


Рис. 1. ***Кинематически однородные блоки, выделенные в пределах Северо-Американской платформы по результатам анализа поля скоростей сети IGS ITRF2005: 1 — пункты GPS, относящиеся к кинематически однородному блоку №1, 2 — пункты GPS, относящиеся к кинематически однородному блоку №2, 3— пункты GPS, относящиеся к кинематически однородному блоку №3***

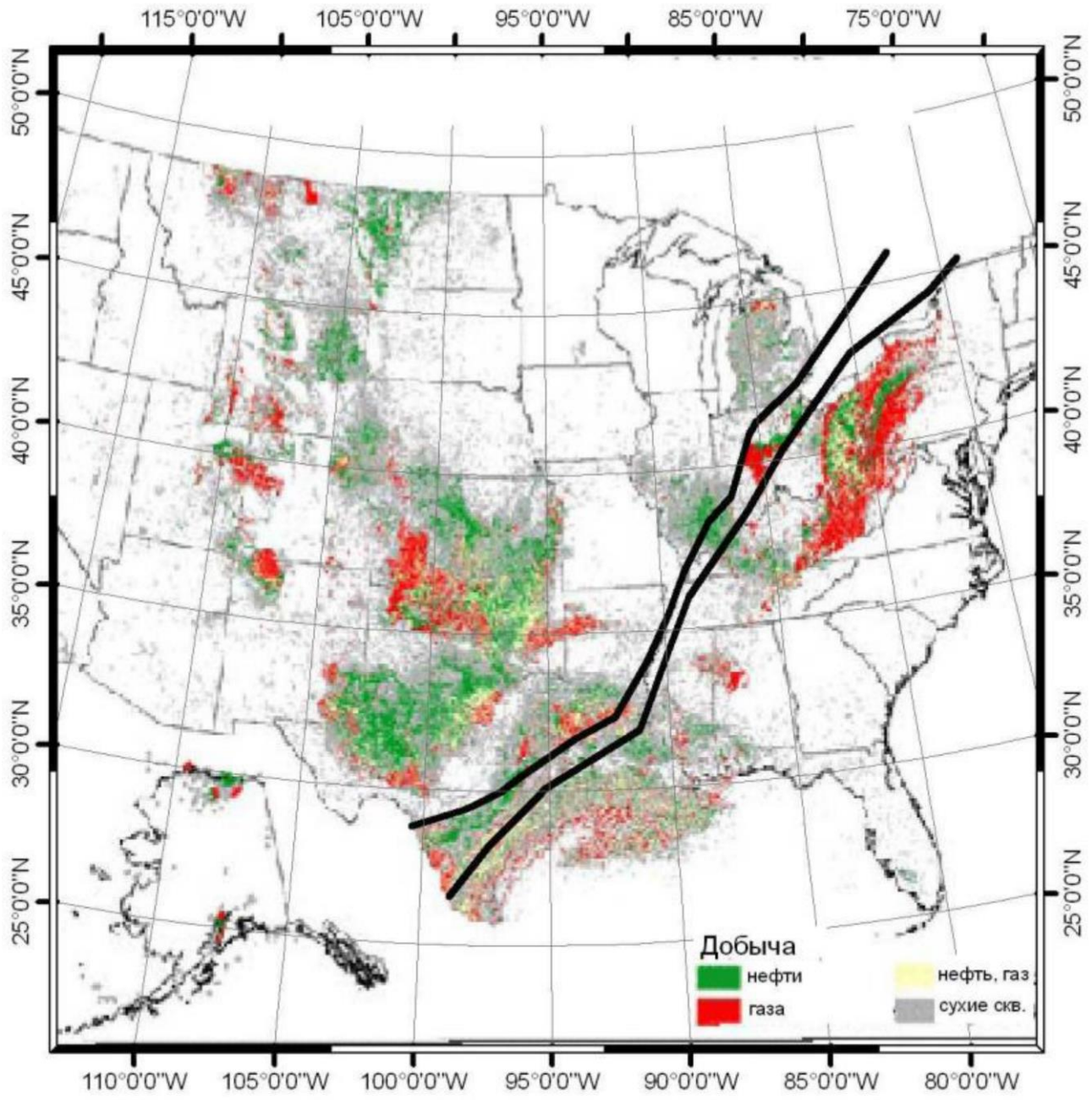


Рис. 2 Добыча природных нефти и газа в США по состоянию на 1998 г. [Mast et. al., 1998]. Жирные черные линии – границы предполагаемых зон контакта кинематически однородных блоков

Для нефтегазоносных бассейнов побережья Мексиканского залива такая корреляция является не столь явной, но отмечается, что нефтяные месторождения в южной части данной нефтегазоносной провинции также тяготеют к выделяемой геотектонически активной зоне, и их расположение совпадает с ней по простиранию. Подобная корреляция является предварительной, и требует дальнейшего углубленного изучения как взаимной кинематики

выделяемых блоков, так и геологического строения как выделяемой зоны сочленения блоков, так и характера коррелирующихся с данной зоной месторождений нефти и газа.

Последним консолидированным кинематически однородным блоком, выделившимся при заданных параметрах кластеризации (блок №3), можно можно назвать обширное пространство, занимающее почти всю Канаду и северную часть штата Мичиган (рис. 1). Данный блок целиком расположен в области активного гляциоизостатического поднятия. Охарактеризован данный блок плохо вследствие низкой плотности сети базовых станций в нем.

Таким образом, проведенный предварительный анализ современной кинематики дискретных кинематически однородных блоков в пределах геодинамически стабильных областей (на примере Северо-Американской платформы) дал удовлетворительный результат, и показал возможность применения разрабатываемых нами методик для выявления и подтверждения активности на современном этапе структур древнего заложения, таких как погребенные рифты и авлакогены в пределах платформенных областей а так же их влияния на современные геодинамические процессы и флюидную проницаемость коры, а также приуроченности к таким зонам месторождений углеводородов. В связи с этим актуальным становится вопрос применения методики и для других регионов, в частности в пределах Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Захаров В.С., Симонов Д.А. Анализ современных дискретных движений блоков земной коры геодинамически активных областей по данным GPS // Вестн. Моск.ун-та. Сер. 4. Геол. 2010. № 3. С. 25–31.

Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. Палеогеодинамика. М.: Наука, 1992. 192 с.

Кокс А., Харт Р. Тектоника плит. М.: Мир, 1989. 427 с.

Симонов Д.А., Брянцева Г.В., Трост П.А. Структурно-геоморфологический анализ сдвиговых зон Южной Калифорнии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геол. 2015. № 6.С. 1–12.

Симонов Д.А., Захаров В.С. Блоковое строение Южной Калифорнии по результатам анализа данных GPS //Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геол. 2015. № 3. С. 21–31.

Altamimi Z., Sillard P., Boucher C. ITRF2000: A new releaseof the International Terrestrial Reference Frame for Earth science applications // J. Geophys. Res. 2002. Vol. 107, N B10. DOI: 10.1029/2001JB000561.

Beavan J., Tregoning P., Bevis M. et al. Motion and rigidity of the Pacific Plate and implications for plate boundary deformation // J. Geophys. Res. 2002. Vol. 107, N B10. DOI: 10.1029/2001JB000282.

Bryant W.A. (compiler). Digital database of Quaternary and younger faults from the Fault activity map of California, version 2.0. California Geological Survey, 2005. URL: http://www.consrv.ca.gov/CGS/information/publications/QuaternaryFaults_ver2.htm 10.05.2010

Fernandes R.M.S., Ambrosius B.A.C., Noomen R. et al. Angular velocities of Nubia and Somalia from continuous GPS data: Implications on present day relative kinematics // Earth Planet. Sci. Lett. 2004. Vol. 222. P. 197–208.

Marquez-Azua B., DeMets C. Crustal velocity field of Mexico from continuous GPS measurements, 1993 to June 2001: Implications for the neotectonics of Mexico // J. Geophys. Res. 2003. Vol. 108, N B9. DOI: 10.1029/2002JB002241.

McCaffrey R. Block kinematics of the Pacific–North America plate boundary in the southwestern United States from inversion of GPS, seismological, and geologic data //J. Geophys. Res. 2005. Vol. 110, N B07401. DOI: 10.1029/2004JB003307.

Meade B.J., Hager B.H. Block models of crustal motion in southern California constrained by GPS measurements //J. Geophys. Res. 2005. Vol. 110, N B03403. DOI: 10.1029/2004JB003209.

Mast R. F., Root D.H., Williams L.P., Beeman W.R. and Barnett, D.L., 1998. Areas of historical oil and gas exploration and production in the conterminous United States: U.S. Geological Survey Oil and Gas Investigations Map I-2582, 1 sheet; http://energy.cr.usgs.gov/oilgas/noga/data.html and http://pubs.usgs.gov/of/1995/ofr-95-0075-c/.

УДК 55(1/9)

РЕКОНСТРУКЦИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СЕВЕРНОГО ПРИЛАДОЖЬЯ ПО ГЕОЛОГО-КИНЕАМТИЧЕСКИМ ИНДИКАТОРАМ

Агибалов А.О[1]., Бондарь И.В.[2], Зайцев В.А.[1], Сенцов А.А. [2], Бардышев Г.П.[1]

[1]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

[2]Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Исследование выполнено при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00359 «Оценка новейшей и современной геодинамической активности докембрийских купольно-надвиговых структур Приладожья»

ВВЕДЕНИЕ

Авторами данной работы на основании ранее проведенного тектонофизического моделирования было сделано предположение о том, что в новейшее время большая часть территории Северного Приладожья развивается в обстановке субгоризонтального северо-западного сжатия, а неотектоническая активизация Ладожского грабена реализуется в условиях северо-восточного растяжения. Для того чтобы проверить обоснованность данного предположения была проведена реконструкция положения главных нормальных осей напряжений по массовым замерам зеркал и борозд тектонического скольжения и элементов залегания поверхностей сместителей разрывных нарушений, зафиксированных в рыхлых отложениях позднего неоплейстоцена. Описание изученных разрывов, интерпретируемых как палеосейсмодислокации, приведено в работе [Агибалов и др., 2018]. Расположения точек, в которых выполнялись замеры, показано на рис. 1 и 2.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

За время полевых работ, проводившихся на территории Северного Приладожья, были собраны 43 замера зеркал и борозд тектонического скольжения и 12 замеров элементов залегания поверхностей разрывных нарушений, проявленных в четвертичных отложениях. Для реконструкции положения главных нормальных осей напряжений используются следующие параметры: азимуты и углы падения поверхностей зеркал скольжения (или разрывов), угол β, показывающий, каким образом ориентированы борозды скольжения относительно линии простирания поверхности зеркала, и кинематический тип трещины (разрыва). Если борозды ориентированы по направлению простирания трещины, то угол $\beta=0^0$; если борозды ориентированы вдоль линии падения, угол $\beta=90^0$. При развороте борозд относительно линии падения трещины по часовой стрелке угол β считается отрицательным,

против часовой стрелки – положительным (рис. 3). Для разрывных нарушений принято, что $\beta=90^0$ (табл. 1; 2). Методика обработки замеров зеркал скольжения с помощью разработанной Ю.Л. Ребецким программы STRESSgeol предполагает автоматизированное разделение всех замеров на соответствующие разным деформационным этапам однородные выборки, для каждой из которых рассчитываются параметры тензора напряжений [Ребецкий и др., 2017]. Разделение зеркал скольжения на такие выборки подчиняется принципу максимальности уменьшения (диссипации) энергии упругих деформаций при минимальном количестве этапов напряженного состояния. Иными словами, автоматизированный анализ зеркал скольжения предполагает поиск такого напряженного состояния, при котором смещение вдоль каждой трещины приводит к уменьшению упругой энергии, а на совокупности сколов одной выборки достигается максимальный сброс упругой энергии.

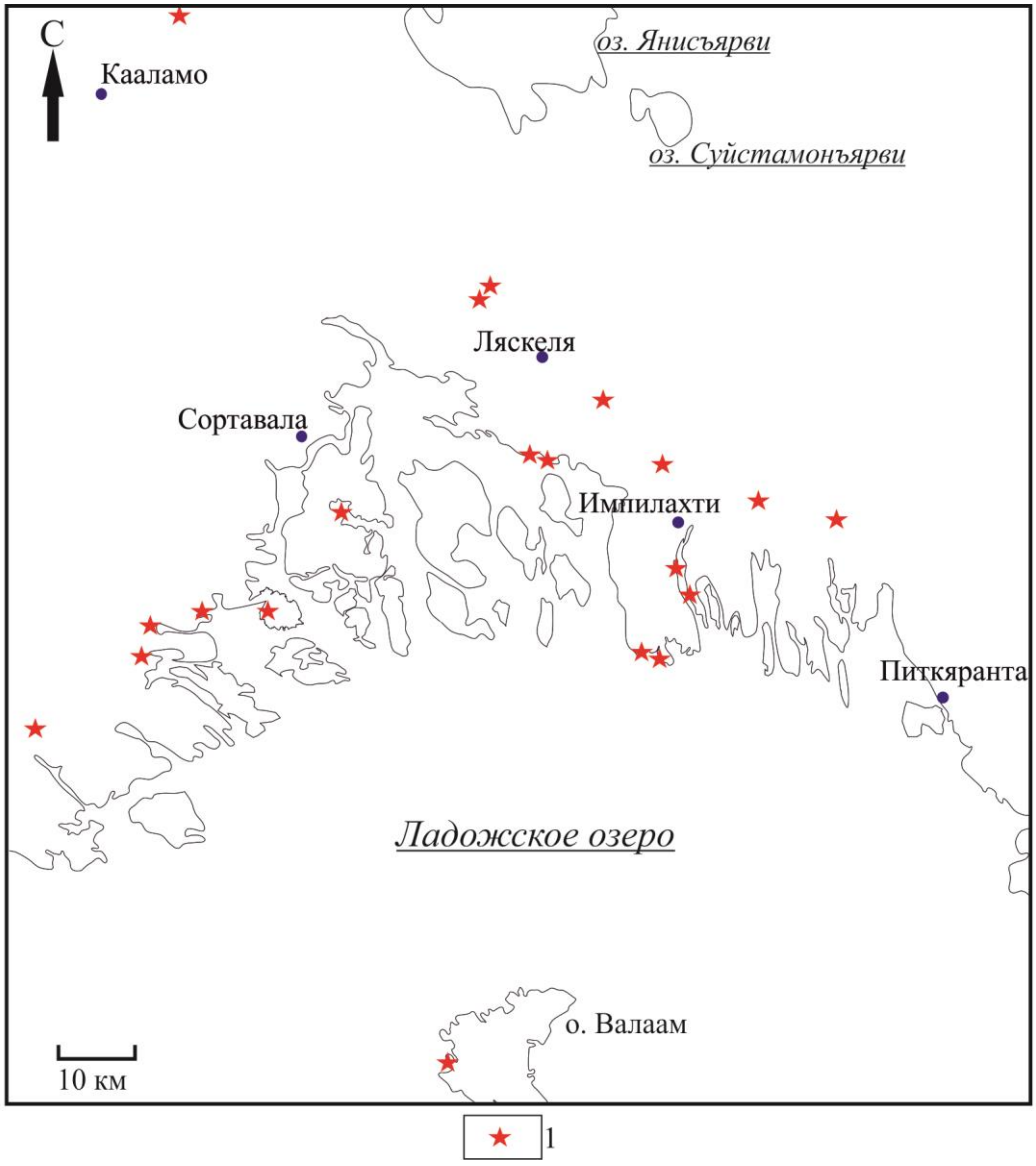


Рис. 1. Схема расположения точек наблюдения, в которых проводились замеры зеркал и борозд тектонического скольжения: 1 – точки замеров зеркал и борозд скольжения

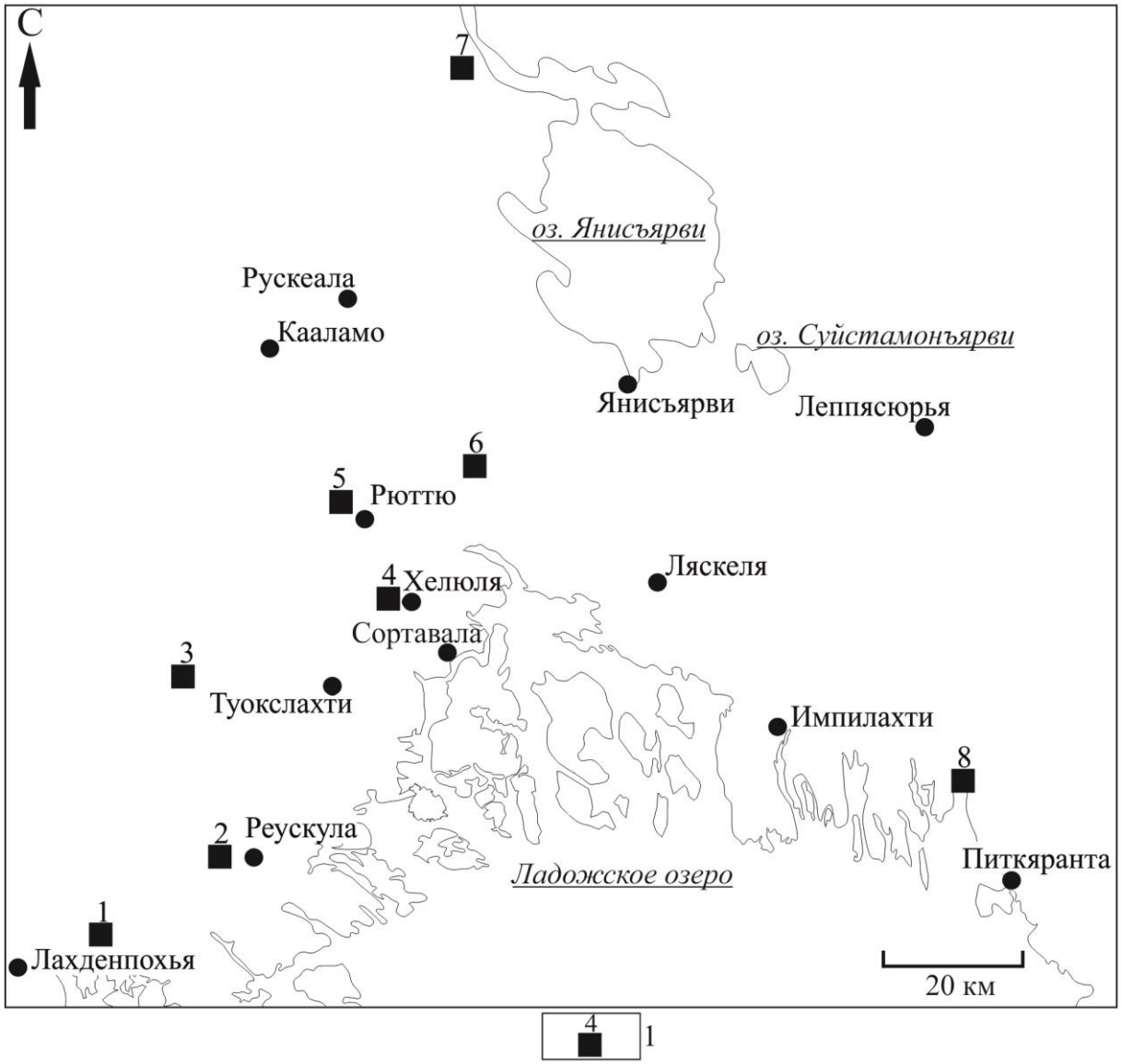


Рис. 2. Схема расположения точек наблюдения, в которых зафиксированы палеосейсмодислокации: 1 – точки наблюдения и их номера, по [Агибалов и др., 2018]

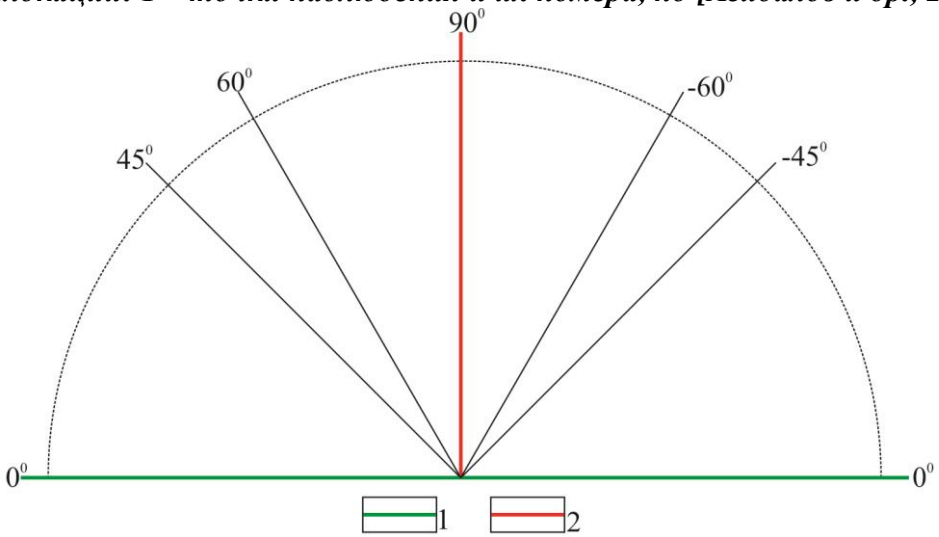


Рис. 3. Схема отсчета угла β, показывающего, каким образом борозды скольжения развернуты относительно линии простирания трещины: 1 – линия простирания трещины, 2 – линия падения

№ п/п	азимут падения лежачего крыла (в ^{0})	угол падения (в ^{0})	угол β (в ^{0})	кинематический тип
1	160	60	-72	w
2	170	45	36	w
3	200	60	-72	w
4	180	45	-78	w
5	200	45	-78	w
6	165	50	-78	w
7	175	85	0	l
8	230	75	0	l
9	245	70	22	s
10	230	75	16	s
11	235	70	0	l
12	230	65	34	s
13	285	85	25	p
14	255	75	11	s
15	230	75	37	s
16	130	40	75	w
17	215	80	-11	l
18	185	85	0	l
19	305	75	53	w
20	315	75	0	p
21	300	75	53	w
22	100	60	-73	w
23	230	35	26	w
24	185	80	36	w
25	40	55	38	w
26	50	70	38	w
27	245	50	90	w
28	325	85	0	p
29	325	85	82	s
30	300	55	-45	w
31	40	40	64	w
32	270	15	0	p
33	250	25	0	p
34	305	65	-28	w
35	300	40	52	w
36	205	40	-75	w
37	340	25	90	s
38	350	50	-49	w
39	120	80	46	s
40	200	50	-41	s
41	240	65	-12	s
42	25	60	-11	w
43	30	70	5	w

Табл. 1. Замеры зеркал и борозд тектонического скольжения: латинскими буквами обозначены: w - взброс, s – сброс, p – правый сдвиг, l – левый сдвиг

№ п/п	азимут падения лежачего крыла (в ^{0})	угол падения (в ^{0})	кинематический тип	№ точки наблюдения
1	350	45	s	1
2	350	70	s	1
3	290	75	s	2
4	190	75	w	3
5	150	60	s	4
6	320	50	w	5
7	300	60	s	6
8	10	30	s	7
9	190	60	w	7
10	10	70	s	7
11	310	70	s	8
12	30	75	s	8

Табл. 2. Замеры элементов залегания поверхностей сместителей разрывных нарушений, зафиксированных в рыхлых отложениях балтийского гляциолимния (поздний неоплейстоцен)

Выполнение этого условия означает, что между направлением касательного напряжения на плоскости трещины и направлением произошедшего по ней смещения существует острый угол. Для того чтобы на количественном уровне оценить, в какой мере выполняются критерии, показывающие, насколько однороден процесс накопления необратимых деформаций в пространстве и времени, для каждого зеркала скольжения рассчитывается параметр Q. Главный из упомянутых критериев имеет вид:

$$d\varepsilon_{11}^k \geq d\varepsilon_{22}^k \geq d\varepsilon_{33}^k \text{ при } d\varepsilon_{11}^k + d\varepsilon_{22}^k + d\varepsilon_{33}^k = 0. \quad (1)$$

где $d\varepsilon_{ii}^k$ – приращения деформаций вдоль главных нормальных осей напряжений σ_i (i=1, 2, 3). Главное растягивающее напряжение обозначено как σ_1, промежуточное - σ_2, сжимающее - σ_3. Для расчета приращений необратимых деформаций достаточно данных о направляющих косинусах нормали к плоскости трещины n_i^k и смещения вдоль нее s_i^k с осями σ_i (i=1, 2, 3):

$$d\varepsilon_{ii}^k = n_i^k s_i^k \quad (2)$$

Из критерия (2) следует, что

$$n_1^k s_1^k \geq n_2^k s_2^k \geq n_3^k s_3^k \quad (3)$$

Как было отмечено выше, для реализации принципа максимальности диссипации упругой энергии при минимальном количестве выделенных однородных выборок необходимо, чтобы между направлением касательного напряжения на плоскости трещины и направлением произошедшего по ней смещения существовал острый угол. Это условие можно записать в виде:

$$n_1^k s_1^k > 0,\ n_3^k s_3^k < 0. \quad (4)$$

Таким образом, при выполнении критериев (2) и (4) Q=7; если выполнен только критерий (3), Q принимает целочисленные значения в интервале 4-6; если критерии (2) и (4) не выполнены, Q составляет 0-3. Зеркала скольжения, для которых Q<0, не включаются в однородную выборку. В данной работе общее количество зеркал одной однородной выборки обозначено буквой N, индексом b обозначены зеркала, полностью удовлетворяющие критериям метода катакластического анализа разрывных смещений Ю.Л. Ребецкого (МКА) с Q=7, индексом s – частично удовлетворяющие данным критериям ($4 \leq Q \leq 6$). Помимо ориентировок главных нормальных осей напряжений, программа STRESSgeol позволяет рассчитать ориентировки осей главных приращений деформаций [Ребецкий и др., 2017]. В ряде случаев выходы соответствующих осей напряжений и главных приращений деформаций совпадают. Более подробно положения метода катакластического анализа разрывных смещений (МКА) Ю.Л. Ребецкого, реализуемые программой STRESSgeol, рассмотрены в публикациях [Ребецкий, 2007; Ребецкий и др., 2009; Ребецкий и др., 2017]. Интерфейс и алгоритм программы STRESSgeol подробно описан в монографии [Ребецкий и др., 2017].

Другим методом реконструкции палеонапряжений по замерам зеркал и борозд скольжения является метод Гущенко - Анжелье, основы которого изложены в работах [Гущенко, 1973; Гущенко, 1979]. В ряде публикаций разработанные О.И. Гущенко и Ж. Анжелье методы описаны как самостоятельные [Ребецкий, 2015]. В связи с тем, что независимо проведенные О.И. Гущенко и Ж. Анжелье исследования, как отмечает П.Н. Николаев (1992), являются «практически идентичными», в данной работе используется название «метод Гущенко - Анжелье». Его физико-математической основой является доказанная Д.П. Маккензи в 1969 году причинно-следственная зависимость направлений сдвиговых перемещений в горных породах от направлений воздействующих на них главных нормальных напряжений [Васильев и др., 2012]. Для определения положений главных нормальных осей напряжений методом Гущенко – Анжелье применяется ряд графических приемов с использованием сетки Вульфа – Гущенко. Они заключаются в построении на стереограмме проекции поверхности зеркала, нанесении вектора перемещения по нему, построению кинематической плоскости, проходящей через вектор перемещения перпендикулярно плоскости зеркала. Главные нормальные оси сжатия и растяжения лежат в кинематической плоскости и ориентированы под углом 45^0 к вектору перемещения [Москаленко и др., 2015]. Квадранты сжатия и растяжения ограничены 2 плоскостями – плоскостью зеркала скольжения и плоскостью, проходящей через полюс к поверхности

зеркала и пересекающей плоскость зеркала. Аналогичные построения проводятся в автоматизированном режиме с помощью программы FaultKin, разработанной исследовательской группой под руководством Р. Альмендингера [Allmendinger et al., 1989]. Достоинством этой программы является то, что при обработке нескольких замеров она позволяет реконструировать положение «квазиглавных» нормальных осей (по терминологии В.Д. Парфенова (1982)), т. е. осредненное положение главных нормальных осей напряжений. В связи с тем, что в программе FaultKin отсутствуют ограничения на объединение зеркал в одну выборку [Москаленко и др., 2015], все зеркала скольжения были предварительно разделены на несколько групп с помощью программы STRESSgeol. В программе FaultKin проведен анализ только тех зеркал, которым в ходе первой итерации был присвоен индекс b. Результаты улучшения качества определения напряженных состояний в ходе последующих итераций не рассмотрены в данной работе, поскольку ориентировки главных нормальных напряжений для одних и тех же кинематических групп в ходе итерационного цикла расчета принципиально не изменялись.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Автоматизированная обработка замеров зеркал и борозд скольжения с помощью программы STRESSgeol показала, что в результате начальной (первой) итерации выделяются 4 однородные выборки. Первые две выборки (А и Б) включают 16b+14s и 12b+9s зеркал, соответственно. Две другие выборки (В и Г), состоящие из 8b+2s и 4b+2s зеркал, исключены из рассмотрения как недостаточно представительные. Обработка с помощью программы FaultKin замеров зеркал, полностью удовлетворяющих критериям МКА (Q=7), позволяет сделать вывод о том, что реконструированные двумя разными методами положения осей σ_i (i=1, 2, 3) принципиально не отличаются друг от друга (рис. 4, 5).

Выборке А соответствует взбросовый тип напряженного состояния, при котором ось сжатия ориентирована в северо-восточном направлении. По мнению авторов данной работы, данный тип напряженного состояния соответствует обстановке северо-восточного сжатия, проявившейся на ранних стадиях карельского тектогенеза. В это время на территории Северного Приладожья происходило формирование надвигов и изоклинальных складок с осевыми поверхностями северо-западного простирания, сопровождавшееся региональным метаморфизмом [Геология Карелии, 1987]. Выборке Б соответствует обстановка субгоризонтального северо-западного сжатия. Данный тип напряженного состояния проявляется в юго-восточной части Балтийского щита на новейшем этапе [Зыков, Полещук, 2016; Keiding et al, 2015].

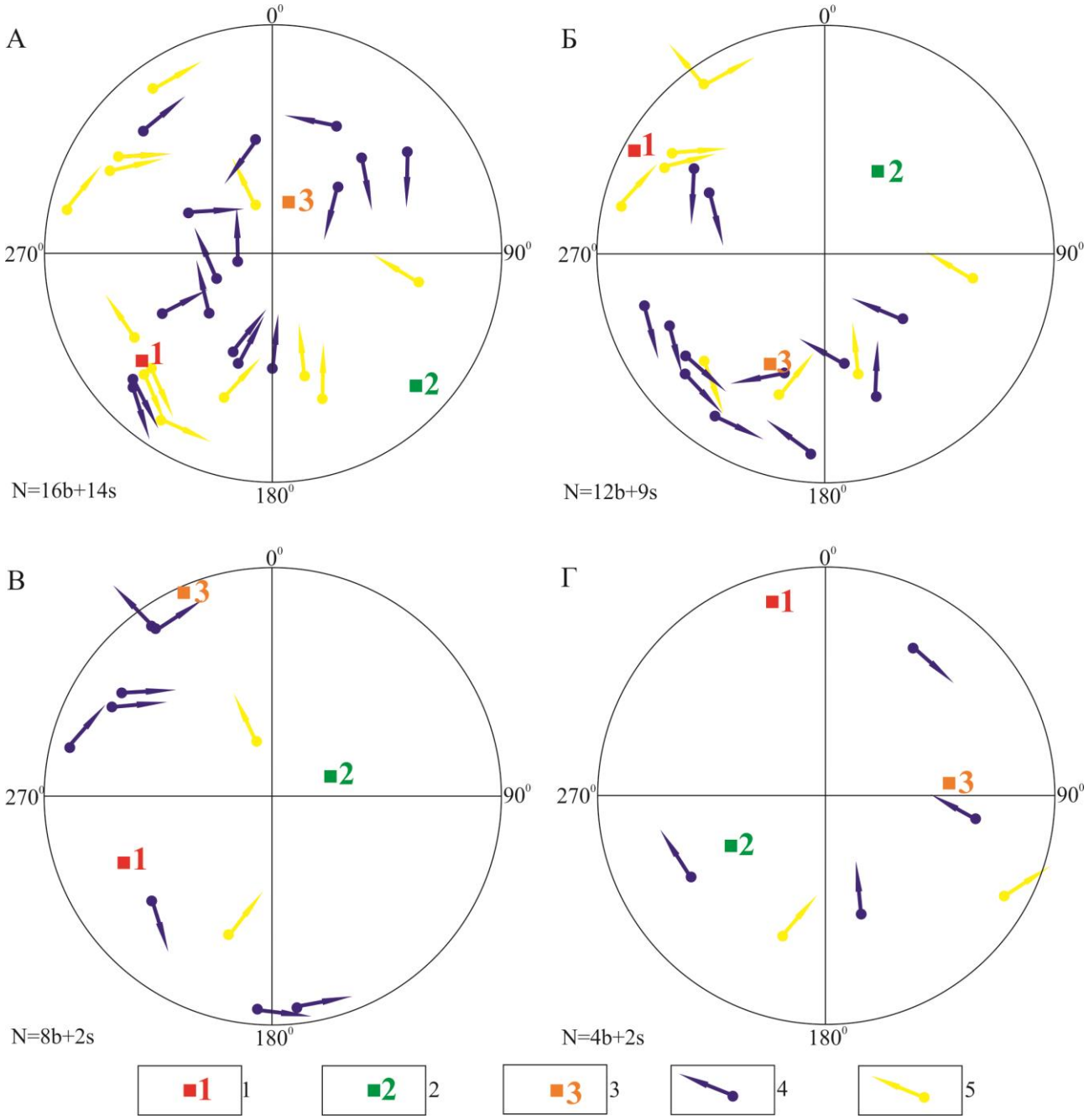


Рис. 4. Положения главных нормальных осей напряжений, рассчитанные с помощью разработанной Ю.Л. Ребецким программы STRESSgeol (верхняя полусфера): 1-3 выходы главных нормальных осей напряжений: 1 – сжатия, 2 – промежуточной, 3 – растяжения; 4-5 –направления смещения по трещинам, построенные в их полюсах: 4 – направления смещения по трещинам, полностью удовлетворяющим критериям МКА, 5 – частично удовлетворяющим; N – общее количество зеркал, b – зеркала, полностью удовлетворяющие критериям МКА, s - зеркала, частично удовлетворяющие критериям МКА (пояснения в тексте)

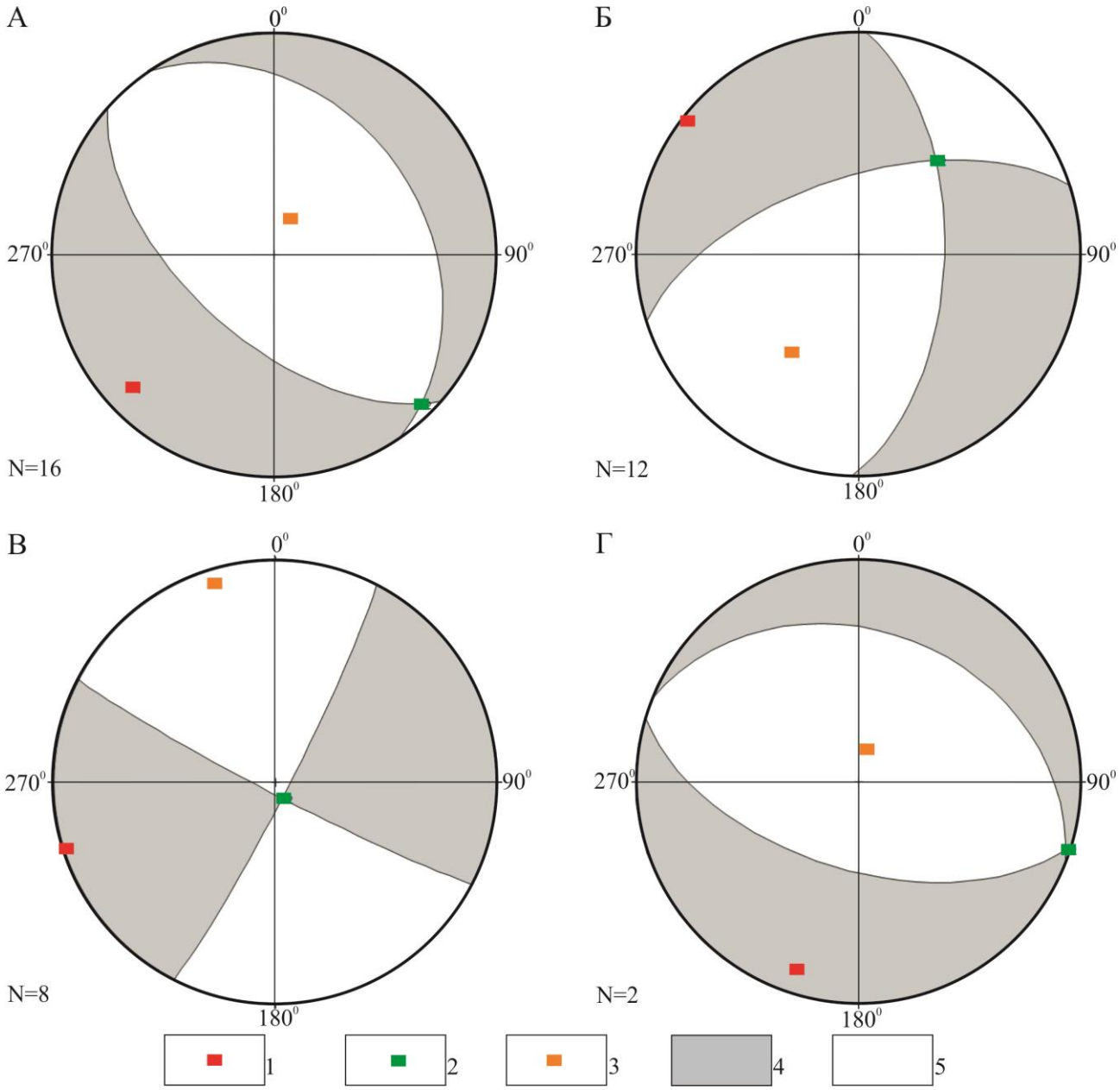


Рис. 5. Положения главных нормальных осей напряжений, определенные с помощью программы «FaultKin», разработанной Р. Аллмендингером и его коллегами (верхняя полусфера): 1-3 - выходы главных нормальных осей напряжений: 1 – сжатия, 2 – промежуточной, 3 – растяжения; 4 – область сжатия, 5 – область растяжения; N – количество зеркал

Таким образом, интерпретация замеров зеркал и борозд скольжения предполагает, что они отражают 2 крупных деформационных этапа: 1) докембрийский, приуроченный по времени к наиболее интенсивным деформационно-метаморфическим преобразованиям, и 2) новейший, в течение которого происходит фрагментарная активизация древнего структурного плана.

В ходе обработки 12 замеров элементов залегания малоамплитудных разрывов с помощью программы STRESSgeol было установлено, что 10 разрывов относятся к

однородной выборке. Этот факт является одним из аргументов, подтверждающих обоснованность интерпретации изученных структур как палеосейсмодислокаций: в том случае, если их формирование обусловлено экзогенными процессами, разрывы были бы ориентированы неупорядоченно и не могли быть объединены в одну кинематическую группу. Определенный с помощью программ STRESSgeol и FaultKin тип напряженного состояния мог проявиться на стадии новейшей активизации Ладожского грабена, происходящей, судя по данным ранее проведенного авторами компьютерного и физического моделирования на эквивалентных материалах, в обстановке субгоризонтального северо-восточного растяжения (рис. 6).

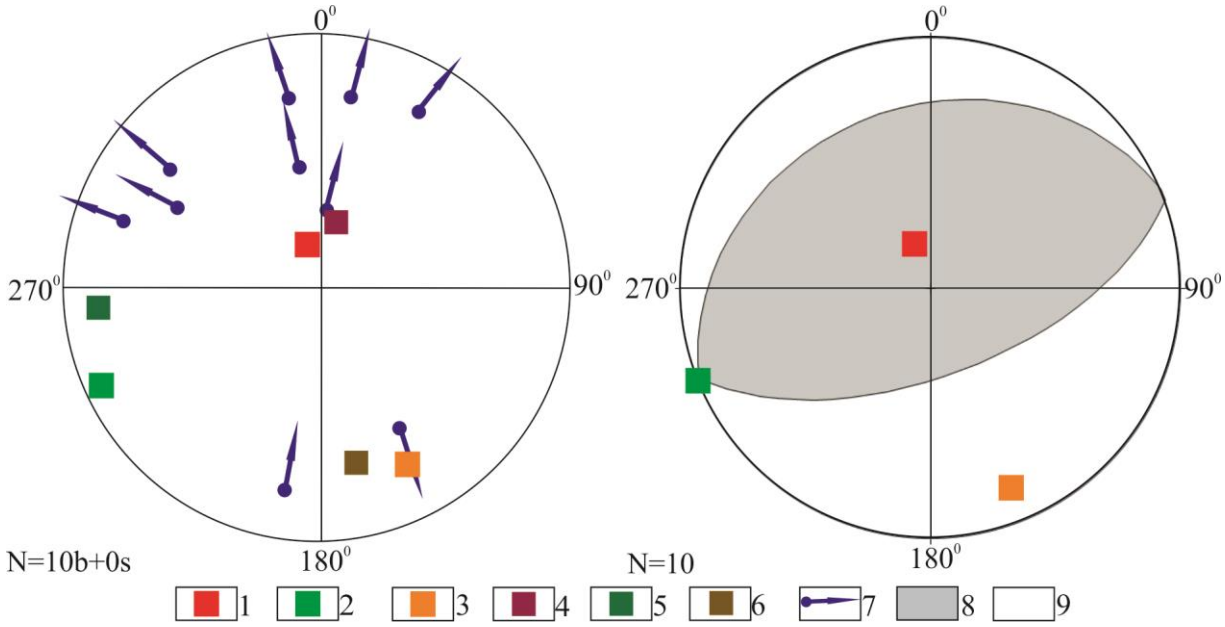


Рис. 6. Положения главных нормальных осей напряжений, рассчитанные с помощью разработанной Ю.Л. Ребецким программы STRESSgeol (слева) и программы FaultKin, разработанной Р. Аллмендингером (справа) (верхняя полусфера): 1-3 выходы главных нормальных осей напряжений: 1 – сжатия, 2 – промежуточной, 3 – растяжения;4-6 выходы осей приращений необратимых деформаций: 4 – сжатия, 5 – промежуточной, 6 – растяжения; 7 - направления смещения по трещинам с Q=7, построенные в их полюсах; 8 – область сжатия (на правом рисунке), 9 – область растяжения (на правом рисунке)

ВЫВОДЫ

Результаты проведенной реконструкции положения главных нормальных осей напряжений по замерам зеркал и борозд скольжения не противоречат ранее выдвинутому предположению о том, что в новейшее время большая часть территории Северного Приладожья испытывает северо-западное сжатие, связанное со спредингом в северной части Атлантического океана и гляциоизостатическим поднятием Балтийского щита. Установленная принадлежность 10 из 12 замеров элементов залегания разрывных

нарушений, проявленных в рыхлых четвертичных отложениях, к одной однородной выборке, является аргументом в пользу того, что они не являются результатом экзогенных процессов, а возникли при сейсмических событиях. Последние могли быть связаны с активизацией Ладожского грабена, происходящей при северо-восточном растяжении.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность заведующему лабораторией тектонофизики им. М.В. Гзовского ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН, доктору физико-математических наук Ю.Л. Ребецкому за предоставленную возможность использования программы STRESSgeol.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агибалов А.О., Сенцов А.А., Бардышев Г.П., Зайцев В.А. Разрывные нарушения в четвертичных отложениях Северного Приладожья как индикатор новейшей сейсмотектонической активности территории // Материалы всероссийской научной конференции "Восточно-Европейская платформа: геология, неотектоника, геоморфология». М.: Перо, 2018. С. 38-56.

Васильев Н.Ю., Мострюков А.О., Сунцов В.А. Условия тектонического нагружения и прогноз перспективных участков месторождения Таловейс // Геология и полезные ископаемые Карелии. 2012. №15. С 77-93.

Геология Карелии. Л.: Наука, 1987. 231 с.

Гущенко О.И. Анализ ориентировок сколовых тектонических смещений и их тектонофизическая интерпретация при реконструкции палеонапряжений // ДАН СССР. 1973. Т. 210. №2. С. 331-334.

Гущенко О.И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений // Поля напряжений и деформации в литосфере. М.: Наука, 1979. С. 7-25.

Зыков Д.С., Полещук А.В. Взаимодействие геодинамических систем на Восточно-Европейской платформе в новейшее время // Бюллетень МОИП. Отдел геологический.2016. Т. 91. Вып. 1. С. 3-14.

Москаленко А.Н., Худолей А.К., Жуков В.В., Демин В.Ю., Верин А.В. Реконструкция кинематических характеристик разрывных нарушений и поля палеонапряжений для Урмано – Ачинской площади (Нюрольская впадина) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2015. Т. 10. №2. С. 1-16.

Николаев П.Н. Методика тектонодинамического анализа. М.: Недра, 1992. 295 с.

Парфенов В.Д. К методике тектонофизического анализа геологических структур // Геотектоника. 1984. №1. С. 60-72.

Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природных горных массивов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 406 с.

Ребецкий Ю.Л. Тектонофизические методы изучения природных напряжений по сейсмологическим данным // Современная тектонофизика. Материалы четвертой молодежной тектонофизической школы-семинара. М.: ИФЗ РАН, 2015. Т. 2. С. 3-42.

Ребецкий Ю.Л., Кучай О.А., Сычева Н.А. Метод катакластического анализа разрывных нарушений и результаты расчетов современного напряженного состояния в коре вблизи границ плит и для внутриплитнтых горно-складчатых орогенов // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40-летию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН. Материалы докладов Всероссийской конференции, г. Москва, 13-17 октября 2008 г. М.: ИФЗ РАН, 2009. С. 340-366.

Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Маринин А.В. От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методики и алгоритмы. М.: ГЕОС, 2017. 234 с.

Allmendinger R.W., Cardozo N.C., Fisher D. Structural geology algorithms: Vectors & Tensors. Cambridge: Cambridge University Press. 2012. 302 p.

Keiding M., Kreemer C., Lindholm C.D., Gradmann S., Olesen O., Kierulf H. P. A comparison of strain rates and seismicity for Fennoscandia: depth dependency of deformation from glacial isostatic adjustment // Geophys. J. Int., 2015. V. 202 P. 1021 – 1028.

История геологии

УДК 550.9

АПОЛОГИЯ НИКОЛАУСА СТЕНО, ИЛИ ОБ УМЕНИИ НЕ ТОЛЬКО СМОТРЕТЬ, НО И ВИДЕТЬ

Полетаев А.И., Гущин А.И., Брянцева Г.В.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

«*…видит только тот, кто умеет смотреть*». –
Поль СИНЬЯК (1863 – 1935) –
знаменитый французский художник.

Вероятно, в каждом языке есть два глагола – *смотреть* и *видеть* (русск.), *look* и *see* (англ.), *sehen* и *erscheinen* (нем.), *regarder* и *voir* (фран.) и т.д. На первый взгляд, разница между ними – не очень большая, но на самом деле – огромная, потому что *все мы смотрим* на окружающий нас Мир, *но далеко не все видят* его особенности. Недаром же, ещё в начале XIX века молодой, но очень талантливый поэт, выпускник медицинского отделения Московского Императорского университета Дмитрий Веневитинов (1805–1827) в одном из своих стихотворений писал:

«*…Природа не для всех очей*
Покров свой тайный подымает:
Мы все равно читаем в ней,
Но кто, читая, понимает?»
1827

Кто же может *понимать природу*? Вероятно, человек, обладающий навыками или, говоря точнее, методами наблюдения. А если методы наблюдения ещё не разработаны? Тогда, вероятно, таким человеком может оказаться тот, кто умеет не только смотреть, но и видеть, т.е. наблюдать, анализировать и делать существенные выводы. И некоторые выводы могут стать фундаментом той или иной новой науки.

С чего начинаются научные открытия? Удивительно, но иногда – с какого-нибудь пустяка: то яблоко упадёт кому-нибудь на голову, то ещё случится что-нибудь эдакое, к науке, на первый взгляд, никак не относящееся. Какое-то время назад все вокруг только и говорили о так называемых инновациях. В том числе, и в геологии. Особенно в этом преуспели многие вездесущие журналисты и отдельные чиновники, неглубоко разбирающиеся в предмете. При этом, настоящие профессионалы, знакомые с историей

геологии, только улыбались, потому что вся история этой науки из них, т.е. из инноваций и открытий, и состоит.

Целая череда таких открытий и инноваций состоялась очень давно, в 1669 году, т.е. ровно 350 лет тому назад. Что же тогда случилось? А случилось следующее. Известный датский анатом Нильс Стенсен, находясь в Италии, опубликовал книгу под весьма необычным названием «*De solido intra solidum naturaliter contento*», которое можно перевести как «*О твёрдом, естественно содержащемся в твёрдом*» (рис.1).

NICOLAI STENONIS
DE SOLIDO
INTRA SOLIDVM NATVRALITER CONTENTO
DISSERTATIONIS PRODROMVS.
AD
SERENISSIMVM
FERDINANDVM II.
MAGNVM ETRVRIÆ DVCEM.
FLORENTIÆ

Рис.1.Титульный лист книги Н. Стенониса «De solido intra solidum naturaliter contento», опубликованной в 1669 г.

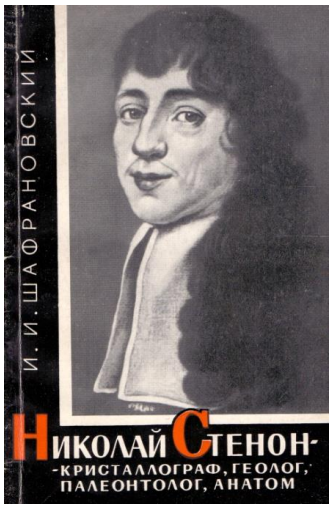


Рис.2. Обложка книги . Шафрановский И.И. Николай Стенон– кристаллограф, геолог, палеонтолог, анатом (1638-1686) М.: Наука. 1972. 180 с.

Если, как сейчас принято, обратиться к всезнающему Интернету с целью понять, кто такой Нильс Стенсен и чем он прославился, то Вы натолкнетесь на весьма скромно составленную справку. В которой будет указано, что Нильс Стенсен родился 10 января 1638 года в Копенгагене, учился на врача (но не окончил) в Копенгагенском университете и в Амстердаме; работал в Голландии и Италии (во Флоренции). За свою не очень долгую (он умер 25 ноября 1686 года, т.е. 48 лет) Н. Стенсен сделал несколько интересных открытий по своей основной специальности, т.е. в анатомии. И, что удивительно, также и в геологии, в которой он установил «*закон постоянства гранных углов кристаллов*», позже названный его именем, сформулировал «*закон последовательности напластования горных пород*», а также показал, что «*наклонное положение слоёв осадочных пород является следствием тектонических нарушений*», и «*выявил значение несогласий*».

А если обратиться к книгам, в которых более подробно рассказывается о жизни и деятельности этого датчанина, то выяснится много интересного (рис.2). Станет ясно, что Нильс Стенсен, более известный по латинизированным формам его имени Николаус Стено,

Николай Стенон или Николас Стенонис, прожил действительно не очень долгую, но весьма богатую разнообразными событиями жизнь, которая могла бы стать основой остросюжетного кино- или телесериала. Да, он действительно родился в Копенгагене, в семье зажиточного бюргера, ювелира и виноторговца, умершего, как пишут биографы Стено, «*в годы раннего детства будущего учёного*», но ни бюргером, ни ювелиром, ни виноторговцем не стал. То есть – линию своего покойного родителя не продолжил.

А стал он одним из самых известных исследователей, основоположником, предтечей и т.д. и т.п. Начальное и среднее образование Нильс получил в копенгагенской школе Святой девы Марии, в которой встретился с крупным учёным, будущим профессором медицины Борхом, и, вероятно, не без его влияния заинтересовался математикой и естествознанием. В 18 лет Нильс Стенсен поступил в Копенгагенский университет, где опять ему повезло встретиться и сблизиться с крупными учёными, один из которых – медик, анатом, физик и математик Расмус Бартолин – позже прославится открытием эффекта двойного преломления луча света в исландском шпате.

В 1659 году Нильсу вместе с другими студентами и горожанами пришлось поучаствовать в военных действиях против напавших на Копенгаген шведов. После войны в жизни Нильса Стенсена начался неспокойный период. Ему пришлось много путешествовать по разным странам Европы. Сначала он переехал в Амстердам, где под руководством профессора Гергарда Блазиуса, а затем самостоятельно стал заниматься изучением лимфатической системы и желез. В 22 года Нильс обнаружил и описал «*околоушный проток слюнной железы*», до сих пор носящий название «*Стенонова протока*», но скандал с Блазиусом, который начал оспаривать приоритет этого анатомического открытия, заставил переехать в Лейден, где уже в 1661 году он защитил диссертацию на тему «*Железы полости рта*».

В последующие четыре года работы в Лейдене, затем в Копенгагене, Николаус Стено опубликовал несколько трактатов по анатомии, содержащих, как считают специалисты, «*много поразительных для того времени открытий*». Стал знаменитым анатомом. Но, несмотря на эти успехи, он, как полагают, вследствие интриг его бывшего учителя Томаса Бартолина, старшего брата Расмуса Бартолина, так и не сумел получить должность профессора в Копенгагене. Это вынудило его переехать в 1664 году сначала в Париж, затем были Австрия и Венгрия. В 1665 году Н. Стено был назначен профессором анатомии в университете Падуи итальянской области Венето (рис.3). Но уже в 1666 году Н. Стено переезжает во Флоренцию, «*ко двору великого герцогства Тосканского Фердинанда II Медичи, который предоставил ему должность придворного врача*». Именно во Флоренции,

параллельно с занятиями анатомией Николаус Стено, сопровождая герцога Фердинанда в его путешествиях по живописной Тоскане, серьёзно увлёкся изучением палеонтологии, геологии, минералогии и кристаллографии. Уже через четыре года, в 1669 году, он издал в виде тезисов диссертации свою знаменитую работу «*De solido intra solidum naturaliter content*» («*О твёрдом, естественно содержащемся в твёрдом*»), в которой, вот здесь для нас – современных геологов – и начинается самое интересное, он:

а) установил *«закон постоянства гранных углов кристаллов»*, позже названный его именем,

б) сформулировал «*закон последовательности напластования горных пород*»,

в) выявил «*значение несогласий*»,

г) показал, что «*наклонное положение слоёв осадочных пород является следствием тектонических нарушений*».

То есть, он – человек, не имевший никакого геологического образования, ибо такого в те годы не существовало в принципе, но обладающий большой наблюдательностью и умением анализировать результаты своих наблюдений, заложил основы, как минимум трёх фундаментальных наук о Земле – кристаллографии, стратиграфии и тектоники. На основании своих наблюдений Стено сделал анализ геологической истории Тосканы, выделил в ней шесть этапов, которые проиллюстрировал схемами (рис.4).

Рис. 3. Николаус Стено

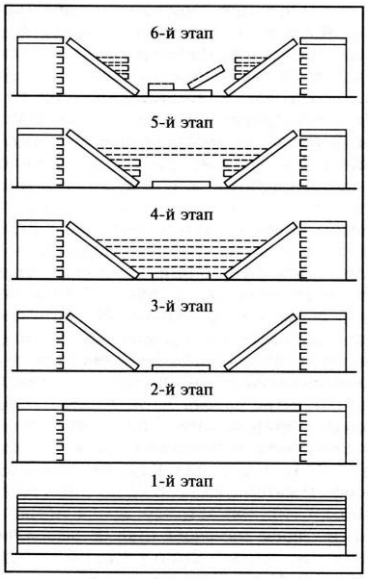


Рис. 4. История геологического развития Тосканы (Н.Стено, 1669; из кн. [Гордеев, 1967])

Говоря о гениальном открытии Николауса Стено, нельзя не сказать и о его не менее великих предшественниках. Действительно, за 6 веков до Стено персидский врач и философ

Ибн Сина (Авиценна) (980–1037) в сочинении «*Природа*» («*Табийат*») дал «*первое изложение основополагающего для стратиграфии и геологии вообще принципа суперпозиции слоёв*» [Хаин, Рябухин, с. 27], отметив, что: «*…каждый раз, когда суша осушается вследствие отступания моря, она оставляет после себя слой (осадков), и мы видим, что некоторые горы кажутся нагромождениями слой за слоем…*» [там же].

В рукописях по различным вопросам науки и техники титана Высокого Возрождения Леонардо да Винчи (1452–1519), жившего почти за два столетия до Стено и примерно там же, где проходили итальянские маршруты Стено, также имеются мысли о слоистости Земли. Так, например, изучая слои с окаменелостями, он записывает: «*Судя по двум рядам раковин, нужно сказать, что сначала земля от возмущения погрузилась в море, образовав первый слой, а затем потоп образовал второй*» [Леонардо да Винчи, 1955, с. 408: из: Круть, 1995, с. 143]. Приходится констатировать, что эти интересные, но краткие, как бы отрывочные, наблюдения (замечания и Авиценны, и Леонардо да Винчи) все же значительно отличаются от фундаментального системного изложения Николауса Стено.

Ценность работы Стено заключается ещё и в том, что все выводы, в отличие от предшественников, он делал «*не путём умозрительных построений, а в результате самостоятельных наблюдений*» [Белоусов, Шафрановский, 1957, с. 79].

В.В. Белоусов, оценивая значение работы Стено, в статье, посвященной 300-летию со дня рождения этого выдающегося учёного, указал, что: «*Если представления Стенона о природе тектонических процессов, происходящих в земной коре, кажутся современному геологу примитивными, хотя в них содержится много интересного, то в той области, которую мы называем теперь структурной геологией и которая занимается вопросами современных структурных взаимоотношений пород внутри земной коры, основные тезисы Стенона остаются до сих пор аксиомами, на которых базируются все наши выводы и построений»* [Белоусов, Шафрановский, 1957, с. 79].

Прошло 80 лет, но мы и сегодня можем сказать то же самое, заменив только одно слово: «*аксиомы*» на «*постулаты*», которые известны теперь любому студенту-геологу.

Как хорошо известно из истории науки, техники и культуры, люди, опережавшие своё время, как правило сталкивались с непониманием окружающих, с завистью и интригами коллег. Не избежал этого и Николаус Стено… И в результате он всё меньше времени посвящал любимой некогда науке, и всё больше – религиозным занятиям. В 1675 году некогда блестящий учёный был посвящён в священнический сан (рис. 5), а в 1677 году с высочайшего разрешения папы Иннокентия X1 – в епископы Ганновера, и стал именоваться «*титулярным епископом Титиополиса*». Но и церковь, как и наука, была поражена, как

оказалось, теми же недугами – непониманием и завистью. Кроме того, Николаусу Стено, бывшему лютеранину, принявшему католичество, непросто было взаимодействовать с окружающим его лютеранским большинством. Всё это, вместе взятое, не могло не отразиться на здоровье и 25 ноября 1686 года великий учёный XVII века скончался.

Годом позже прах Николауса Стено по просьбе семьи Медичи был доставлен в его любимую Флоренцию и погребён в базилике святого Лоренцо, прилегающей к церкви Медичи.

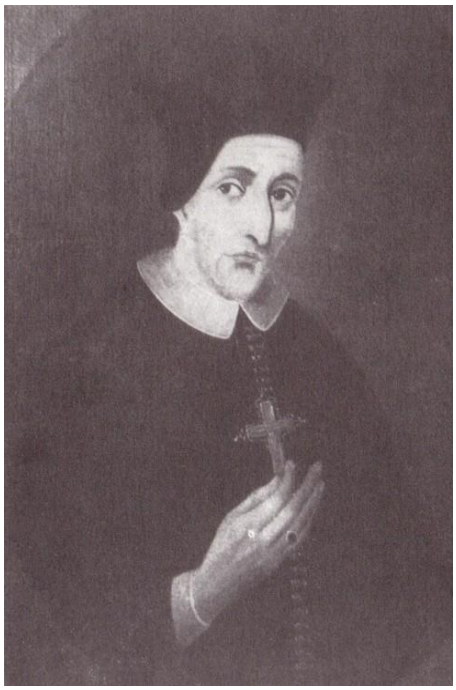


Рис. 5. Н. Стенон в последние годы жизни (неизвестный художник). Дом католической церкви в Шверине, по [Шафрановский, 1972]

Рис. 6. Памятник Н.Стено в Копенгагене

При жизни Н. Стено его работы по анатомии и геологии высоко оценивались современниками. Только один его знаменитый труд «О твердом, естественно содержащемся в твердом» переиздавался трижды. Но затем был забыт. Его заново открыл для науки в 1823 году Александр фон Гумбольдт. В 1832 году известный французский геолог Эли де Бомон перевел его на современный французский язык [Белоусов, 1938, с. 108]. Возрождение и признание Стено состоялось и продолжалось весь XIX век. В 1883 году, почти через два столетия после смерти ученого, участники Международного геологического конгресса установили на его гробнице мемориальную доску с надписью: «*Vir inter geologos et anatomicos praestannisimus / Муж между геологами и анатомами превосходнейший*».

Таким образом, реализация геологических инноваций Николауса Стено стала

осуществляться только через 150 лет после публикации «*De solido intra solidum naturaliter content*». В течение Х1Х века – на основе представлений о слоистости земной коры – были заложены основы современной стратиграфической (геохронологической) шкалы – от кембрия до квартера. И произошло это, благодаря биостратиграфическому методу, т.е. определению относительного возраста слоёв с использованием остатков организмов, заключённых в этих слоях. Методу, разработанному в конце XVIII – начале Х1Х веков на примере угольных копей Соммерсетского бассейна, недалеко от города Бата английским естествоиспытателем – землемером-самоучкой Вильямом Смитом, который родился в 1769 году, т. е. ровно через 100 лет после публикации фундаментального труда своего великого предшественника.

Надо ли говорить, что без *стратиграфического расчленения* толщ земной коры было бы невозможно и проведение геологического картирования, т.е. составления геологических карт, а значит и изучения региональной геологии. Но это, как говорят в таких случаях, уже совсем другая история.

На его пьедестале памятника Н.Стено в Копенгагене (рис.6) выгравировано выражение: «*Прекрасно то, что мы видим, ещё прекраснее то, что мы знаем,но далеко превышает по красоте то, что нам неизвестно*», которое может служить девизом и современных исследователей Земли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Белоусов В.В. – Николаус Стено – основоположник геотектоники//Природа, №5. 1938. С. 107–111

Белоусов В.В., Шафрановский И.И. Роль Н. Стенона в истории геологии и кристаллографии / В кн. *Стенон Н.* О твёрдом, естественно содержащемся в твёрдом. М.: Изд-во АН СССР. 1957. С. 78 – 91

Гордеев Д.И. История геологических наук. Т.1 (от древности до конца Х1Х в.). М.: Изд-во МГУ. 1967. 316 с.

Крутъ И.В. Развитие общенаучных оснований геологии. М.: Наука. 1995. 287 с.

Леонардо да Винчи. Избранные естественнонаучные произведения. М.: Изд-во АН СССР. 1955. 1028 с.

Стенон Н. О твёрдом, естественно содержащемся в твёрдом. Изд-во АН СССР. 1957. 91с.

Хаин В.Е., Рябухин А.Г. История и методология геологических наук. М.: Изд-во МГУ. 2004. 320 с.

Шафрановский И.И. Николай Стенон – кристаллограф, геолог, палеонтолог, анатом. Л.: Наука. 1972. 180 с.

УДК 550.9

АЛМАЗНЫЕ ГЕРОИНИ РОССИИ: 65 ЛЕТ КРУПНЕЙШЕМУ ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ ОТКРЫТИЮ XX ВЕКА

Брянцева Г.В., Гущин А.И., Романовская М.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ

Твердость алмазов, высокая устойчивость к химическим реагентам и изнашиванию, исключительные декоративные качества являются основными причинами их широкого использования в технике и в ювелирном деле. Сейчас трудно найти отрасль промышленности, в которой не применялись бы алмазы. Первые алмазы были известны в Индии еще 4500 тыс. лет назад, и еще долгое время именно Индия оставалась единственным поставщиком этого минерала. Но кто, когда и где нашел первые алмазы неизвестно.

Долгое время находки этих минералов носили практически случайный характер в результате промывки золотоносного аллювия (россыпные месторождения). Первое коренное месторождение алмазов было открыто в Южной Африке в 1871 г. В настоящее время коренные месторождения этого ценнейшего минерала известны на всех континентах. Чаще всего они связаны с трубками и дайками кимберлитов древних платформ, хотя встречаются и другие геолого-генетические типы первоисточников алмазов.

Рост промышленной добычи алмазов в мире постоянно увеличивается. Так, в 1940 г. добыча этого минерала составила 14,4 млн. каратов [Алмазы Сибири, 1957], а в 2016 году – 150,855 млн. каратов, причем на долю России приходится 42, 615 млн. карат (по данным Annual Global Summary 2017 Production imports, Exports and KPC Counts).

В нашей стране первый алмаз был найден в золотоносных россыпях на Урале в 1829 г. Находили их и позднее, но все же это было дело случая. На покупку алмазов в довоенные и послевоенные годы Россия тратила миллионы рублей, поскольку в нашей стране продолжали разрабатываться только небольшие россыпные уральские месторождения, которые не покрывали всех нужд развивающейся промышленности. Поэтому организовываются поисковые работы, как на Урале, так и в других районах нашей страны. Перед геологами была поставлена задача – найти коренные месторождения алмазов. Но, несмотря на большой объем проведенных исследований, поиски не увенчались успехом. В послевоенные годы начались систематические работы по изучению алмазоносности Сибирской платформы. В 50-х годах XIX столетия исследователь Сибири Р.К. Маак указывал, что Вилюйский округ «богат на железную руду, соляные залежи и драгоценные камни». В 40-ых годах о перспективности поиска алмазов на Сибирской платформе писал иркутский геолог М.М.

Одинцов – первый главный геолог Тунгусской экспедиции [Костицын, 2016]. Сибирская платформа считалась перспективной для поиска коренных месторождений алмазов потому, что особенности ее геологического строения во многом сходны со строением алмазоносных районов Южной Африки.

ВРЕМЯ ПОИСКОВЫХ УДАЧ

Наиболее крупной экспедицией, ведущей поиск алмазов между Енисеем и Леной, была Тунгусская экспедиция, позднее переименованная в Амакинскую. Работы экспедиции начались в 1947 г. Первые алмазы из россыпей геологами этой экспедиции были найдены 20 августа 1948 года в бассейне р. Нижняя Тунгуска на участке «Синий хребетик» в долине р. Малая Ерема. Но основная задача ставилась по выявлению коренных месторождений алмазов. Никто не мог точно сказать, какие породы могут служить источниками коренных алмазов в Якутии, где находятся эти источники? В Южной Африке это были алмазоносные кимберлиты. В Сибири подобные породы были тогда неизвестны. Высказывались предположения об алмазоностости либо пород основного состава – базальтов и долеритов (траппы), либо ультраосновных пород в горах, обрамляющих Сибирскую платформу. Лишь небольшое число геологов предполагало, что сибирские алмазы, как и африканские, связаны с алмазоносными трубками взрыва.

Руководством Амакинской экспедиции в качестве рабочей была принята ошибочная «трапповая гипотеза», которую и разрабатывали до 1954 г. Работы велись на левом берегу Вилюя, где развиты мощные толщи траппов. При промывке шлихов, как поисковый признак, искали наиболее распространенные в траппах минералы – тяжелые пироксены, оливин, ильменит. Но оказалось, что в шлихах, где присутствовали эти минералы, алмазы обнаружены не были. Ежегодно, в течение 7 лет полевые партии уходили в тайгу. Усилий и денег тратилось много, результатов не было. Конечно, каждый год алмазы находили в россыпях по долинам рек, иногда до сотни кристаллов. Но масштаб поставленной задачи был несравнимо большим.

В числе наиболее известных теперь геологов, работавших в то время над проблемой поиска сибирских коренных алмазов, были Наталия Николаевна Сарсадских, Лариса Анатольевна Попугаева, Наталья Владимировна Кинд и Екатерина Николаевна Елагина называемые часто «алмазницами». Именно они внесли решающий вклад в создание алмазодобывающей промышленности нашей страны, что во многом обусловило становление России как мировой алмазной державы.

В 1954 году в Москве для поисков коренных месторождений был создан специализированный Союзный трест № 2, которому подчинялись несколько крупных

стационарных экспедиций, ведущих поиски алмазов, а в Ленинграде – Центральная экспедиция, которая также вела работы на эту тему на всей территории СССР. В Западной Якутии поисковые работы велись местной Амакинской экспедицией Союзного треста № 2 Главгеологии Министерства геологии СССР.

Выпускница Ленинградского университета ***Наталия Николаевна Сарсадских*** (09.01.1916 – 26.04.2013) во время Великой Отечественной войны работала в составе Уральской алмазной экспедиции, которая вела поиски россыпных месторождений алмазов (рис.1). В послевоенное время, в 1950 г. она работала в Центральной экспедиции, ведущей исследования в бассейне р. Вилюй. В это время произошло ее знакомство с ***Ларисой Анатольевной (Гринцевич) Попугаевой*** (03.09.1923-19.09.1977), также выпускницей Ленинградского университета (рис. 2). И ленинградские и якутские ученые в эти годы активно занимались разработкой метода поиска коренных алмазов. В Центральной экспедиции для исследования шлихов, составляющих тяжелую фракцию аллювиальных россыпей и выявления минералов, сопутствующих алмазам в коренных месторождениях, была создана шлиховая минералогическая лаборатория, заведующей которой стала Н.Н.Сарсадских.

Рис. 1. Наталия Николаевна Сарсадских

Рис. 2. Лариса Анатольевна Гринцевич после окончания университета [Костицын, 2016]

Проработав три года в бассейне р. Вилюй, Наталья Сарсадских переносит работы в долину ее притока - речку Мархи (рис. 3). В своем решении она руководствовалась тем, что

в аллювии р. Мархи, близ устья её притока, реки Далдын, были найдены единичные кристаллы алмаза. Вместе с ней во время полевого сезона 1953 г. начинает работать Лариса Попугаева (рис. 4). Изучая шлихи, они обратили внимание на присутствие в них красных, красно-лиловых и черных минералов. Муж Натальи Сарсадских, преподаватель Ленинградского университета, минералог А.А. Кухаренко, диагностировал эти минералы как гранат пироп и пикроильменит и указал на их идентичность спутникам алмазов из южноафриканских кимберлитов. Наталья Николаевна высказала идею о том, что для обнаружения коренных алмазоносных пород, в россыпях надо искать не сами алмазы, встречающиеся крайне редко, а минералы-спутники, которые сопутствуют алмазу в коренной породе. Это стало надежным ключом, поисковым признаком, индикатором, для выявления месторождений сибирских алмазов. Пиропы и пикроильмениты распространены значительно шире алмазов, кроме того, благодаря их яркой окраске, их значительно проще обнаружить. Для выявления критериев поисков алмазоносных пород - источников алмаза в россыпях, она предложила составить шлиховую карту Сибирской платформы и возглавила эту работу.

Рис. 3. Н.Н. Сарсадских

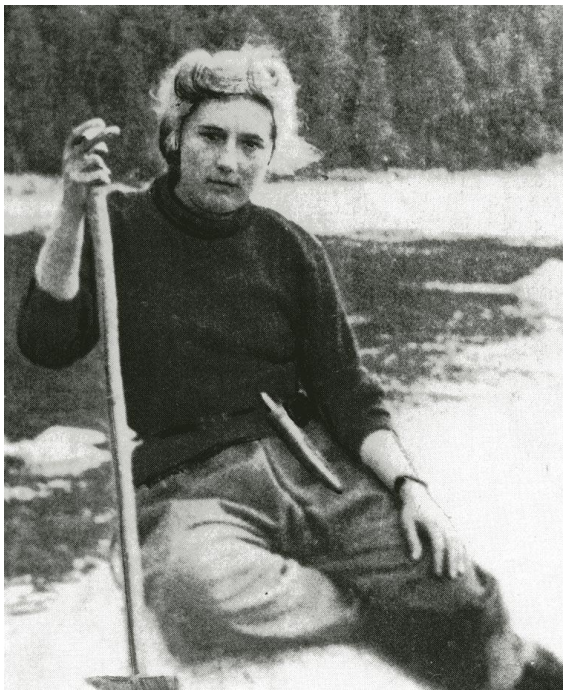


Рис. 4. Л.А. Попугаева. 1952 г. [Костицын, 2016]

Результаты исследования шлихов, в которых были обнаружены минералы-индикаторы, показали, что их максимальные скопления локализованы в приустьевой части левого притока Далдына – ручья Дьяха. Именно это район Н.Н. Сарсадских и Л.А. Попугаева определили для дальнейших детальных исследований в следующем полевом

сезоне [Харькив, 1997]. Но так сложилось, что Наталья Сарсадских не смогла принять участие в экспедиции 1954 г.

Рис. 5. Л.А. Попугаева, Ф.А. Беликов и собачка Пушок, 22 августа 1954 г. [Костицын, 2016]

Лариса Попугаева одна не хотела ехать в экспедицию, но ее удалось убедить тем, что она имеет опыт полевой работы, знает район, хорошо диагностирует спутники алмазов. Ларисе Попугаевой дали в помощники только одного рабочего - Федора Алексеевича Беликова, сотрудника Амакинской экспедиции (рис. 5). Маршрутная пара работала с утра до вечера, продвигаясь вверх по долине руч. Дьяха. Они проводили опробование через каждые 500 м, анализировали распределение спутников алмазов в шлихах. Когда в шлихах исчезли минералы-индикаторы, исследователи вернулись назад и стали проводить изучение ложбины на склоне ручья. В верхней части ложбины, на водоразделе, под покровом мха они обнаружили голубоватую глиноподобную породу с обильными кристаллами пиропа и пикроильменита. Это были впервые найденные в Сибири кимберлиты, ранее такие породы в Сибири известны не были. Так 21 августа 1954 г. молодой ленинградский геолог Лариса Анатольевна Попугаева нашла первую не только в нашей стране, но и вообще за пределами Африки, кимберлитовую трубку, получившую название «Зарница», размер которой, как выяснилось впоследствии, составил 32 га. Добыча сырья на коренном месторождении

алмазов трубки «Зарница» ведется с 1999 года. Выявленные запасы месторождения по классификации кодекса JORC на 1 января 2015 года составили 7,49 млн карат.

После этого открытия уже ни у кого не осталось сомнений, что Сибирские месторождения алмазов связаны с кимберлитами. Первооткрыватели провели первичное оконтуривание трубки, в качестве заявочного столба Ф.А. Беликов затесал стоящую рядом лиственницу, а записка-заявка на открытие месторождения была оставлена в консервной банке.

Успешное применение Л.А. Попугаевой пиропового метода поиска коренных алмазоносных пород привело к открытию первой в Сибири кимберлитовой трубки. Событие, которое обещало стать триумфом Ларисы Попугаевой, принести известность и признание, обернулось для нее жизненной драмой. Она не пыталась утаивать примененный ей метод поиска коренных алмазов, заботясь исключительно о пользе дела. И уже в 1955 г., с помощью пиропового метода, геологами Амакинской экспедиции было открыто еще несколько месторождений алмазов. В дальнейшем такое поведение Л.А. Попугаевой был осуждено ленинградскими геологами. Они посчитали, что она «раскрыла перед сотрудниками конкурирующей организации открытие Н.Н. Сарсадских – А.А. Кухаренко» [Юзмухаметов, 2011].

Геолог также Центральной экспедиции ***Наталья Владимировна Кинд*** (8.07.1917 – 13.02.1992) работала на 500 км южнее, в долине правого притока р. Вилюй, на реке Малая Ботуобия (рис.6). В 1953 г. она вместе с геологом Арсением Панкратовым и проводником нашла в аллювии реки Малая Ботуобия кристалл алмаза, тем самым доказав алмазоносность этого района. Коса, где был обнаружен алмаз, была названа «Находка». Для подтверждения алмазоносности этой реки и выяснения областей сноса в район был направлен зимний поисковый отряд. Найденные отрядом в аллювии реки Малая Ботуобия алмазы потвердили, что первая находка не была случайной. Однако среди геологов начались споры. Одна группа предполагала, что в бассейне р. Малая Ботуобия должна быть кимберлитовая трубка, другие утверждали, что алмазы в реку попали в результате перемыва древних россыпей, образованных при разрушении траппов. На последней версии настаивали и известные геологи Амакинской экспедиции Г.Х. Файнштейн и В.Д. Скульский [Костицын, 2016]. Они считали, что правые притоки Вилюя малоперспективны для поиска коренных алмазов.

Поэтому в следующий полевой сезон, в 1954 г. в район было отправлено два отряда. Отряд под руководством Н.В. Кинд провела шлиховой анализ аллювия р. Ирелях, левого притока р. Малая Ботуобия, где нашли более десятка алмазов и много зерен пиропа (рис. 6). Это указывало на то, что коренное месторождение где-то рядом. Выше по течению в долине

р. Ирелях содержание алмазов заметно снижалось [Елагина, 2003]. На основе распространения пиропов в шлихах весной 1955 г. Н.В. Кинд составила прогнозную геологическую карту. На карте было указано два перспективных участка на вероятное расположение кимберлитовой трубки, примерно в 20 км от устья р. Ирелях. Наталья Владимировна отдала копию карты Е.Н.Елагиной, которую она уговорила ехать как можно раньше весной, до распутицы [Баскина, 2001].

В начале апреля ***Екатерина Николаевна Елагина*** (13.04.1926 – 01.04.2011) отправилась на Вилюй для работы с Юрием Хабардиным и Владимиром Авдеенко, сотрудниками Амакинской экспедиции (рис.7). Работы начали с долины р. Ирелях, с того участка, который был указан на карте Н.В. Кинд, как перспективный для поисков коренного нахождения алмазов.

Рис. 6. Наталья Владимировна Кинд

Рис. 7. Екатерина Николаевна Елагина

Почти сразу в новом районе работ В. Авдеенко нашел в аллювии алмаз. На следующий день 13 июня 1955 г. они начали исследовать ближайший к месту обнаружения алмаза лог, алмазы были обнаружены практически через 100 м. И уже поздним вечером, под корнями деревьев Екатерина Елагина увидела голубоватую породу с пиропом. Это была кимберлитовая трубка крупнейшего в мире коренного месторождения алмазов (рис. 8). И по рации с якутской реки Ирелях геологи отправили экстренное сообщение: «Закурили трубку мира, табак хороший». Этот код и дал имя новой кимберлитовой трубке — «Мир» [Харькив, 1997]. В настоящее время запасы этой трубки оцениваются в 142 млн каратов.

Рис. 8. Кимберлитовая трубка Мир. 1957 г.

В СПИСКАХ НЕ ЗНАЧИЛИСЬ

Роль женщин-геологов в открытии коренных месторождений алмазов трудно переоценить. Именно Н.Н. Сарсадских и Л.А. Попугаева обнаружили первые спутники алмазов – пиропы и создали надежный способ поисков коренных месторождений алмазов. Л.А. Попугаева открыла первую в нашей стране алмазоносную кимберлитовую трубку «Зарница», Н.В.Кинд и Е.Н.Елагина – крупнейшее месторождение алмазов – трубку «Мир». Но о заслугах этих легендарных женщин постарались быстро забыть и не вспоминали долгое время. Удивительно, что эти открытия, которое должны были принести заслуженное признание и славу, нельзя назвать счастливым событием их жизни. Конечно, во многом это связано с режимом строжайшей секретности, окружавшем в то время все, что связано с поисками, разведкой и добычей таких ценных полезных ископаемых как алмазы, золото, платиноиды.

Руководство мощной Амакинской геологоразведочной экспедиции (АмГРЭ) сумело путем угроз и запугивания Л.А. Попугаевой присвоить себе открытие кимберлитовой трубки «Зарница». Их раздражало, что первая якутская трубка оказалась обнаруженной не ими, потратившими на поиски коренных месторождений алмаза несколько лет и миллионы рублей, а другой экспедицией. Причем найдена была эта трубка молодой женщиной, «заезжей гастролершей» из Ленинграда. Для того, чтобы сделать открытие первой кимберлитовой трубки заслугой Амакинской экспедиции, было принято решение заставить Л.А. Попугаеву написать заявление о переходе в Амакинскую экспедицию задним числом, до открытия трубки и им это удалось сделать. Вместе с Попугаевой АмГРЭ досталась и слава открытия первой в стране кимберлитовой трубки, и слава успешного применения на

практике разработанного ленинградскими минералогами пиропового метода поиска кимберлитов

Примерно то же самое произошло и с Натальей Кинд, и Екатериной Елагиной. Несмотря на то, что их роль в открытии трубки «Мир» необычайно велика. Имя Натальи Владимировны Кинд – главной героини открытия, не только не имеющей себе равных в мире трубки «Мир», но и богатейшей малоботуобинской алмазоносной провинции, долгое время не было ни известно, ни признано.

В 1957 г. в стране были опубликованы имена лауреатов Ленинской премии. Главный геолог Союзного треста №2 А.П. Буров и пять геологов Амакинской экспедиции (В.Б. Белов, Г.Х. Файнштейн, Ю.И. Хабардин, В.Н. Щукин, Р.К. Юркевич) получили Ленинскую премию «за открытие коренного месторождения алмаза», хотя некоторые из этого списка отношения к открытию не имели. Ни Л.А.Попугаевой, ни Н.Н.Сарсадских, ни Н.В.Кинд, ни Е.Н.Елагиной в списке лауреатов не было.

Полугодом позже, в ознаменование 325-летия вхождения Якутии в состав России Лариса Попугаева все же была награждена орденом Ленина, а Наталья Сарсадских – орденом Трудового Красного Знамени. Но только «за достигнутые успехи в хозяйственном и культурном строительстве».

В 70-х годах появился знак «Первооткрыватель месторождения» и в 1970 году Л.А. Попугаева была награждена почетным дипломом и этим знаком «Первооткрыватель месторождения». О заслугах Наталии Сарсадских в разработке пиропового метода поисков и открытии коренных месторождений алмаза забыли надолго. Только в 1990 году, через 36 лет, после открытия трубки «Зарница», Н.Н. Сарсадских вручили диплом и знак «Первооткрыватель месторождения» за вклад в открытие «Зарницы». В 1994 ей было присвоено звание почетного гражданина города Удачный, а в 2005 звание «Заслуженный геолог Республики Саха (Якутии)». 2 апреля 2014 года, уже посмертно, Н.Н. Сарсадских присвоено звание «Первооткрывателя» за вклад в открытие другой трубки – «Удачная». Единственной наградой Н.В. Кинд за «открытие века» стал нагрудный знак «Первооткрыватель месторождения». Екатерина Елагина была награждена знаком «Первооткрыватель месторождения», а Орден Почета она получила только в 2001 году.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных поисковых работ в Якутии была открыта, одна из крупнейших в мире алмазоносных провинций. Установлено, что коренные алмазоносные породы Якутии представляют собой типичные кимберлиты, локализованные в трубках. Открытие первых алмазоносных трубок на Сибирской платформе, позволило расширить

территорию поисков, что привело к обнаружению большого количества новых коренных месторождений алмазов. В 1955 г. открыто 15, а в 1959 году было известно уже 120 кимберлитовых трубок. В настоящее время почти 90% всех алмазов, которые добываются в России родом из Сибири. Кроме того, полученный опыт работ в Якутии, был успешно использован при поисках и разведке алмазных месторождений и в других районах, в том числе на Восточно-Европейской платформе.

И все же справедливость, в конце концов, восторжествовала. Крупные алмазы, позже найденные в Якутии, получили имена этих героических женщин-алмазниц: «Лариса Попугаева» – 29,4 карата, «Наталия Сарсадских» – 72,85 карата, «Екатерина Елагина» – 78,8 карата, «Наталья Кинд» – 58,55 карата.

В России надо жить долго!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алмазы Сибири. М.: Госгеолтехиздат. 1957. 158 с.

Баскина В.А. О геологе Наталье Кинд // Природа. 200. №6. С. 92-96.

Елагина Е.Н. Алмазные экспедиции. М.: «Полярный круг», 2003. 382 с.

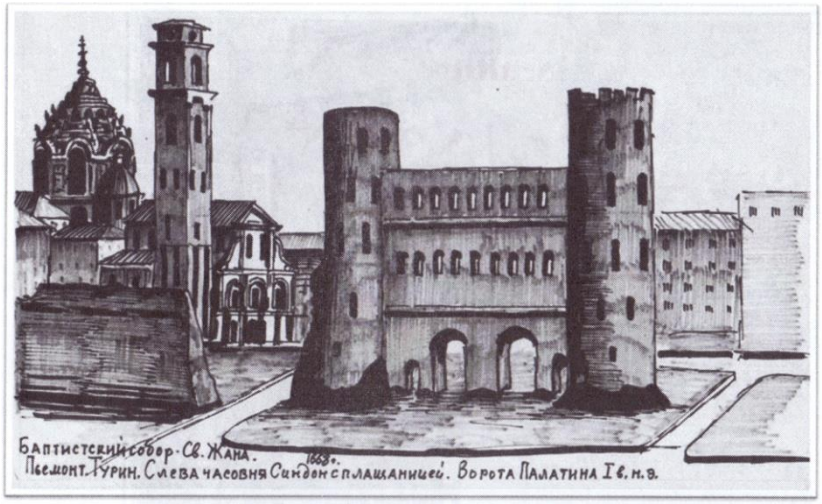
Костицын В.И. Лариса Попугаева – первооткрывательница алмазов в России. Пермь: «Perm University Press», 2016. 232 с.

Харькив А.Д., Зинчук Н.Н., Зуев В.М. История алмаза. М.: Недра, 1997. 601 с.

Юзмухаметов Р.Н. История открытия первого месторождения алмазов в России кимберлитовой трубки «Зарница» (1950–1990-е годы) // Вестник Челябинского государственного университета. 2011. № 1 (216). История. Вып. 43. С. 87–91.

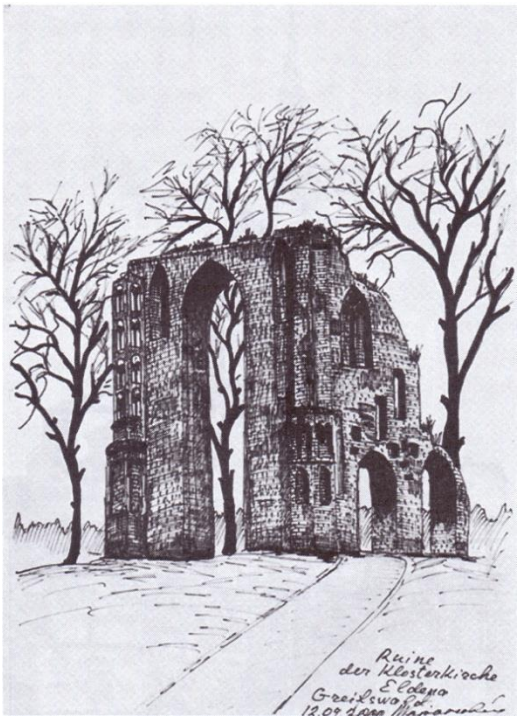
Картинная галерея сотрудников кафедры динамическая геология

Николай Владимирович КОРОНОВСКИЙ –
Заведующий кафедрой динамической геологии,
доктор геолого-минералогических наук, заслуженный профессор МГУ,
действительный член Российской Академии Естественных наук…
Ещё долго можно было бы перечислять его научные и педагогические звания,
но здесь он интересен нам как Художник,
цепкий взгляд и твёрдая рука которого не могут «пройти»
и мимо канадских моноклиналей, и мимо одинокого китайского путника…
Из всех своих путешествий – от туманного Альбиона на западе до Пекина на востоке,
от фьордов Норвегии на севере до пирамид Египта на юге –
Николай Владимирович привёз массу мгновенных зарисовок,
составивших целый альбом,
которому может позавидовать и настоящий профессиональный художник.

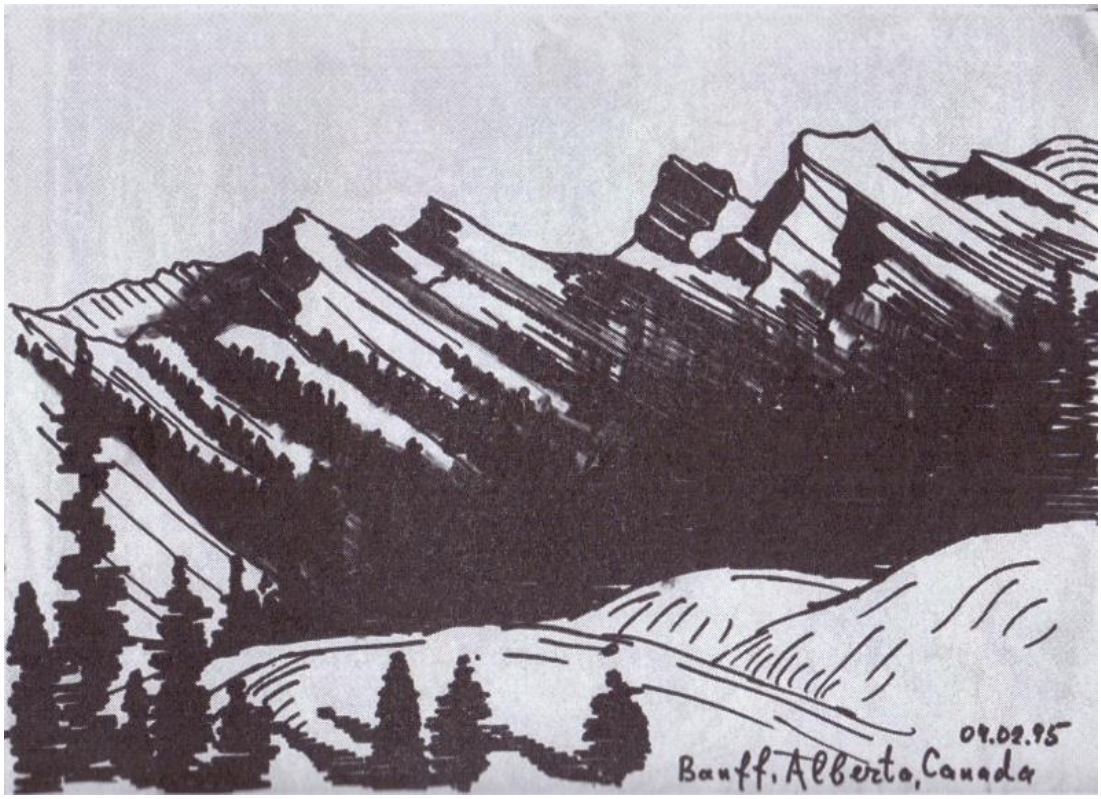


Турин. Баптистский собор Св. Жана.
Слева – часовня Синдон с плащаницей. Ворота Палатина 1 в. н.э.

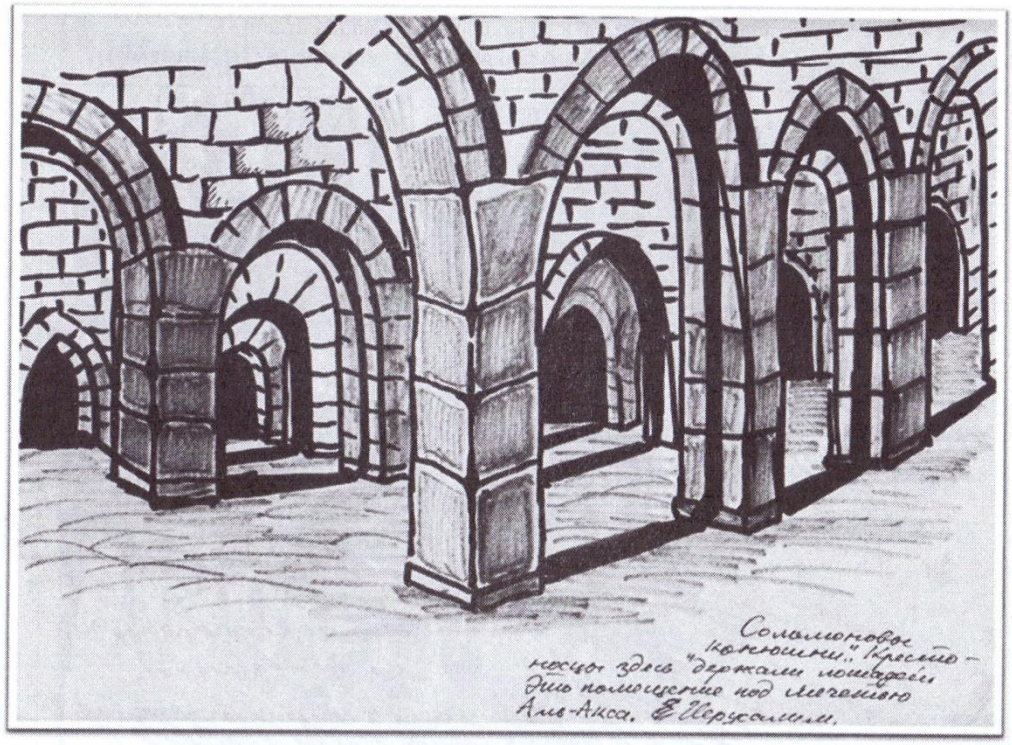
Остров Санторин



Германия. Грейсфальд. Руины Клостеркирхе Елдена



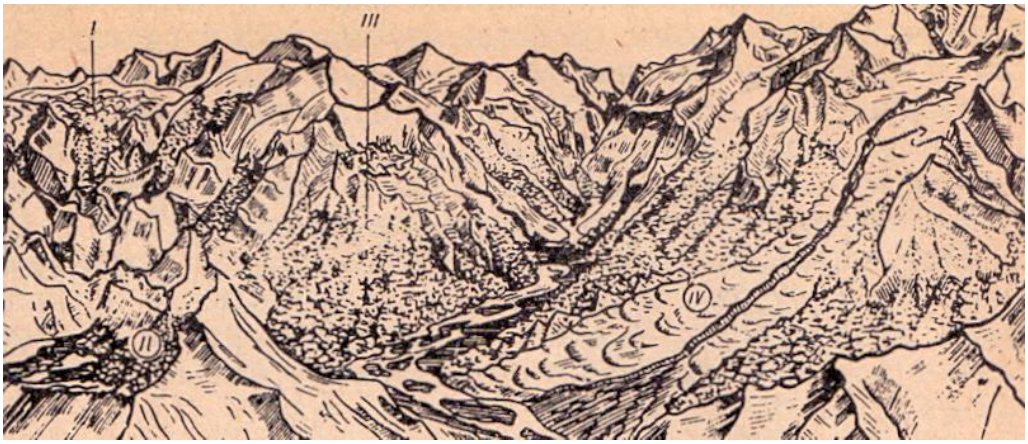
Канада. Альберта. Банф. Скалистые горы.

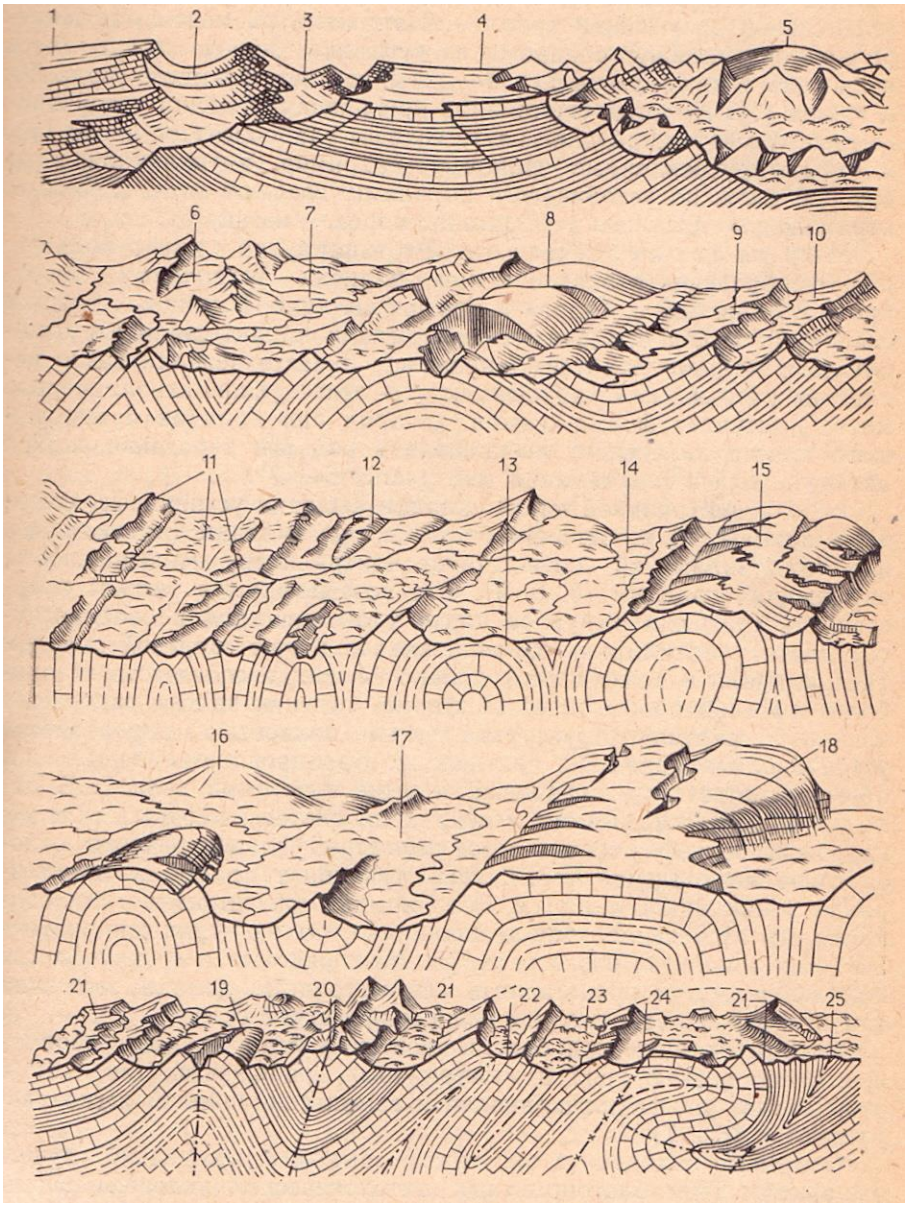


Иерусалим. Соломоновы «*Конюшни*» под мечетью Аль-Акса, где крестоносцы содержали своих лошадей.

Из цикла: Рисунки в китайском стиле

Кафедре динамической геологии всегда везло с профессорами,
каждый из которых был уникальной личностью, но…
Но даже на этом фоне Наталья Петровна КОСТЕНКО (1915 – 2005) отличалась ярким,
темпераментным характером,
который проявлялся не только в её профессорской деятельности,
где она была великолепным лектором
и тончайшим исследователем геоморфологии,
но и в её многочисленных геологичесиких рисунках и живописных картинах,
на которых она запечатлела горные пейзажи её любимой Средней Азии, а также
Кавказа, Крыма, Сибири и других регионов нашей планеты.




1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
21
19
20
21
22
23
24
21
25

Динамическая геология
Электронный научно-образовательный журнал 2019/2

Издательство «Перо»
109052, Москва, Нижегородская ул., д. 29-33, стр. 27, ком. 105
Тел.: (495) 973-72-28, 665-34-36
Подписано к использованию 25.04.2019.
Объем 67Мбайт. Электрон. текстовые данные.(CD-ROM). Заказ 299.