

Динамическая геология

электронный научно-образовательный журнал



2021/2



УДК 55
ББК 26.32я43
Д46

Д46 **Динамическая геология. Электронный научно-образовательный журнал 2021/2** – Москва : Изд-во «Перо», 2021. – 118 с. 7Мб. [Электронное издание]. – Систем. требования: процессор x86 с тактовой частотой 500 МГц и выше; 512 Мб ОЗУ; Windows XP/7/8; видеокарта SVGA 1280x1024 High Color (32 bit). – Загл. с экрана

ISBN 978-5-00189-537-4

Электронный адрес журнала
<http://www.geodisaster.ru/index.php?page=nomera-zhurnalov-za-2021-god>

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

Во втором номере журнала «Динамическая геология» за 2021 опубликованы статьи, посвященные разным аспектам этого научного направления. К ним относятся фундаментальные вопросы эволюции суперконтинентов в истории Земли (статья проф. Н.А. Божко), изучение метаморфических преобразований горно-складчатых областей (М.Ю. Промыслова с соавторами), новейшая тектоника платформенных территорий (Н.В. Макарова, Т.В. Суханова). Кроме того, второй выпуск журнала содержит работы методического характера (о приемах обработки данных ГНСС) и педагогической направленности: в одной из публикаций проанализирован опыт организации олимпиады школьников сотрудниками кафедры динамической геологии. Значимому событию в ее истории — пятидесятилетнему юбилею лаборатории геологических исследований космическими методами — посвящена обзорная статья А.И. Полетаева. В заключительной части журнала — страницы памяти наших коллег Л.М. Расцветаева, Е.А. Рогожина и М.Г. Ломизе.

УДК 55
ББК 26.32я43

На обложке журнала — вулканическая бомба на о-ве Уруп (фото А.А. Сенцова)

ISBN 978-5-00189-537-4

СОДЕРЖАНИЕ

А.И. Полетаев Лаборатории геологических исследований космическими методами — 50 лет!	3
А.И. Полетаев, А.О. Агибалов Москва геологическая: новый взгляд на «хорошо изученную» территорию	24
Н.А. Божко О двух типах гранулитового метаморфизма в суперконтинентальном цикле	43
Н.В. Макарова, Т.В. Суханова Новые структуры Восточно-Европейской платформы — гравитационно-тектонические массивы	50
М.Ю. Промыслова, Л.И. Демина, В.Л. Косоруков, А.В. Валл Зеленосланцевый метаморфизм офиолитов района мыса Фиолент (Юго-Западный Крым)	65
А.О. Агибалов, В.А. Зайцев, Н.Г. Кошевой, Л.В. Панина, А.А. Сенцов Методика расчета величины деформации по данным о скоростях горизонтальных перемещений пунктов ГНСС	84
А.О. Агибалов, А.М. Фетисова, Т.Э. Багдасарян, Е.Д. Егошина, А.А. Елисеев, Н.С. Калинина, Н.И. Косевич, И.Е. Лебедев, М.А. Максимова, М.В. Маркевич, С.Д. Муравьева, М.С. Мышенкова, С.А. Фурсова Опыт организации кабинета "Полевая геология" в рамках геологической олимпиады школьников в МГУ имени М.В. Ломоносова в 2021 году	89
В.Г. Трифонов, М.Л. Копп, Н.Н. Курдин, А.И. Полетаев, Т.Ю. Тверитинова О творческом наследии Леонида Михайловича Расцветаева (11 ноября 1936 – 4 января 2021)	94
Евгений Александрович Рогожин (16 декабря 1946 – 6 апреля 2021)	115
Михаил Григорьевич Ломизе (21 сентября 1933 – 2 июля 2021)	118

УДК 551.1/4

ЛАБОРАТОРИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОСМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ — 50 ЛЕТ!

А.И. Полетаев

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

2021 год богат юбилейными событиями, связанными с космическими исследованиями.

310 лет назад родился великий русский учёный, основатель Московского университета Михаил Васильевич Ломоносов (1711 – 1765), которому принадлежит открытие атмосферы Венеры и первое описание «коловратных», т.е. вращательных процессов.

60 лет назад, 12 апреля 1961 года, совершил первый в мире космический полёт Юрий Алексеевич Гагарин (1934– – 1968), а в августе того же года Герман Степанович Титов (1935 – 2000) сделал первые снимки Земли из Космоса.

50 лет назад – 2 декабря 1971 года – спускаемый аппарат советской станции «Марс-3» совершил первую в мире мягкую посадку на поверхность Марса. К сожалению, трансляций панорамы окружающей поверхности длилась только 14,5 секунд, но всё равно это был грандиозный прорыв отечественной космонавтики.

На Земле в этом же году также произошёл большой прорыв... Именно в 1971 году по инициативе профессоров нашего факультета – Алексея Алексеевича Богданова (кафедра исторической геологии) и Виктора Ефимовича Хаина (кафедра динамической геологии) на геологическом факультет была основана Лаборатория геологических исследований космическими методами. Первым заведующим Лаборатории был назначен Яков Григорьевич Кац.



А.А. БОГДАНОВ (1907 – 1971)



В.Е. ХАИН (1914 – 2009)



Я.Г. КАЦ (1924 – 2008).

За прошедшие 50 (!) лет Лабораторией проделана огромная и разнообразная работа. И это несмотря на то, что с самой Лабораторией, с направлениями её исследований, равно как и с её сотрудниками произошли самые различные изменения.

В течение первого десятилетия, т.е. в 70-е годы прошлого века, исследования Лаборатории были сосредоточены на изучении Марса, в результате чего были составлены Геоморфологическая и Тектоническая карты этой планеты, получившие 1-я премию Московского общества испытателей природы (МОИП) (рис. 1).

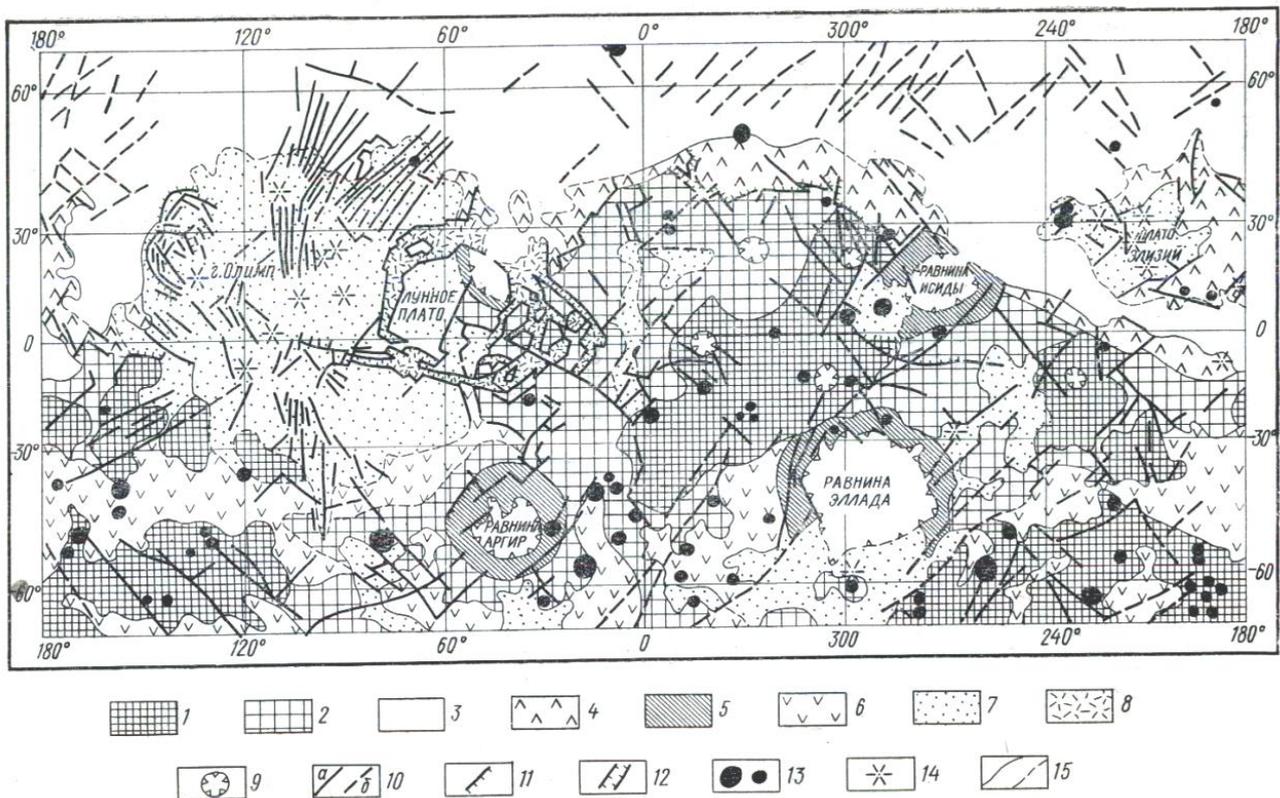


Рис. 1. Тектоническая карта экваториальной части Марса (м-б 1 : 100 000 000)

[Кац и др., 1981]

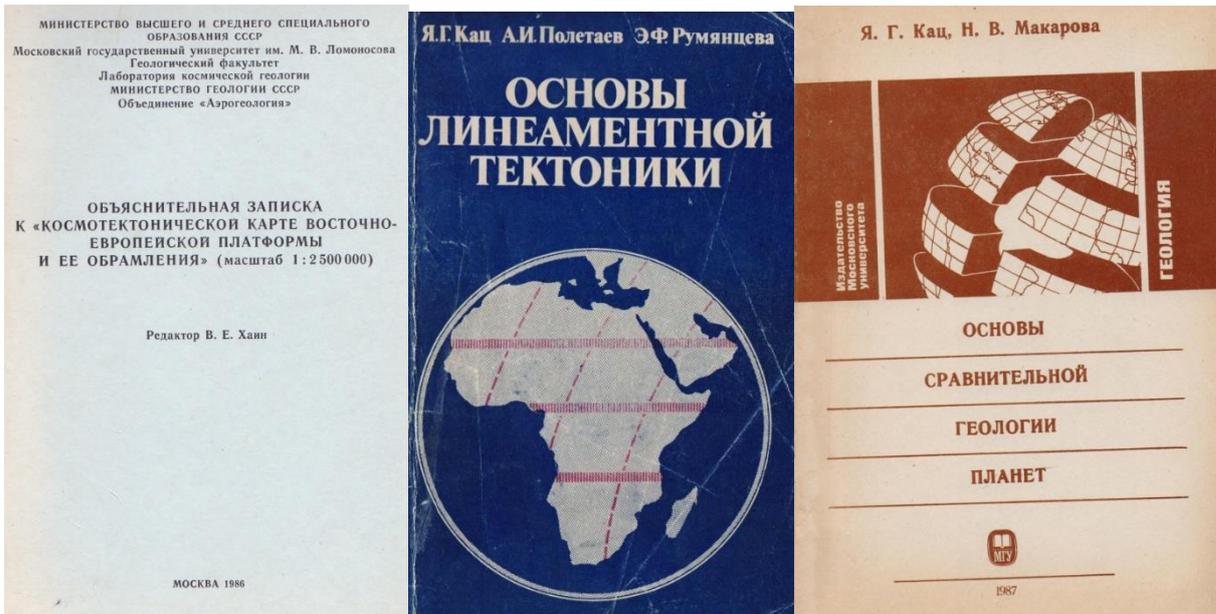
Континентальная область с преобладающими мощностями коры 40 – 50 км: 1 – древнейшие части континента с возвышенными участками рельефа (местами до 3 – 5 км) и максимальной плотностью кратеров древних генераций (более 25%); 2 – континентальные области с плотностью кратеров древних генераций до 25%, обычно занимающие различное гипсометрическое положение; 3 – океаническая область с преобладающими мощностями коры 10 – 30 км, включая внутренние и краевые её части, а также круговые морские депрессии (талассоиды и субталассоиды). Область перехода между континентальной и океанической областями с преобладающими мощностями коры от 25 до 40 км: 4 – реликты континентов; 5 – Кордильеры. Области тектоно-магматической активизации континентов: 6 – эриданской фазы; 7 – сиртской, гесперийской, фарсидской фаз; 8 – зоны развития рифтогенных структур послеокеанического этапа; 9 – контуры талласоидов и субталассоидов. Разрывные нарушения: 10 – крупные разрывы (а – чётко дешифрируемые, б – предполагаемые); 11 – тектонические уступы; 12 – грабены; 13 – крупные кратеры; 14 – щитовые вулканы; 15 – границы тектонических областей (прямая – чётко дешифрируемые, штрих – предполагаемые).

В середине этого десятилетия (в 1976 году) в издательстве нашего Университета под редакцией В.Е. Хаина вышло первое в нашей стране учебное пособие «Космические методы в геологии», удостоенное Почётного диплома Московского общества испытателей природы (МОИП) (рис. 2).



Рис. 2. Обложка книги «Космические методы в геологии» (1976 г., 246 с)

Не менее плодотворным было и второе 10-летие работы Лаборатории, т.е. 80-е годы прошлого столетия, в течение которого была составлена «Космотектоническая карта Восточно-Европейской платформы и её обрамления» (м-б 1 :2 500 000) и изданы «Основы линеаментной тектоники» (1986), «Основы сравнительной геологии планет» (1987), «Кольцевые структуры континентов Земли» (1987), «Космические методы в геологии» (1988), «Основы космической геологии» (1988) (рис. 3).



М.:1986, 71 с.

М.: «Недра», 1986, 134 с.

М.: МГУ, 1987, 136 с.



М.: «Недра», 1987, 184с.

М.: «Недра», 1988, 235 с.

М.: МГУ, 1988,146 с.

Рис. 3. Монографии и учебные пособия, изданные Лабораторией в 80-х годах прошлого века

В эти же годы сотрудники Лаборатории начали издавать работы научно-популярного характера (рис. 4).



Рис. 4. Слева — «Геологи изучают планеты» (Я.Г. Кац, В.В. Козлов, Н.В. Макарова, Е.Д. Сулиди-Кондратьев. М.: «Недра», 1984, 144 с.); в центре — «Космическая геология» (М.: «Просвещение», 1984, 80 с.); справа — «Кольцевые структуры Земли: миф или реальность?» (М.: «Наука», 1989, 188 с.)

В течение этого 10-летия Лаборатория провела в Московском Обществе испытателей природы несколько научных сессий «Дистанционные методы в геологии», в работе которых приняли участие не только сотрудники Лаборатории и Геологического факультета – Я.Г.Кац, М.Л. Копп и Е.И. Блюмкин, Н.В. Короновский, О.Т. Кроткова, Н.В. Макарова, А.А. Махорин, М.Ю. Никитин, Т.П. Онуфриюк, А.И. Полетаев, Э.Ф. Румянцева, Ал.В. Тевелев, М.Я. Кац и И. А. Кошелева, Арк.В. Тевелев и Г.А. Лебедев, Д.М. Трофимов, но и сотрудники других геологических организаций Москвы – В.Н. Брюханов, В.А. Буш и Э.Н. Елина, В.В. Козлов, М.З. Глуховский, В.М. Моралёв, Л.И. Соловьёва, Е.Д. Сулиди-Кондратьев.

Среди слушателей докладов сессий были представители Института литосферы, Геологического института и Института физики Земли АН СССР, Института «Гидропроект», НПО «Аэрогеология», МГРИ и других научно-исследовательских и научно-производственных организаций Москвы.

Особым событием середины 80-х годов стало участие группы сотрудников Лаборатории в работе 27-ой сессии Международного геологического конгресса, проходившего в Москве в 1984 году. На этом Конгрессе был сделан доклад «Природа линеаментов и их роль в изучении современной геодинамики (на примере сочленения платформ Евразии и Гондваны)», в котором впервые было показано клиновидное сочленение

данных платформ (рис. 5), скрытое мощными осадочными толщами Альпийского горно-складчатого пояса.

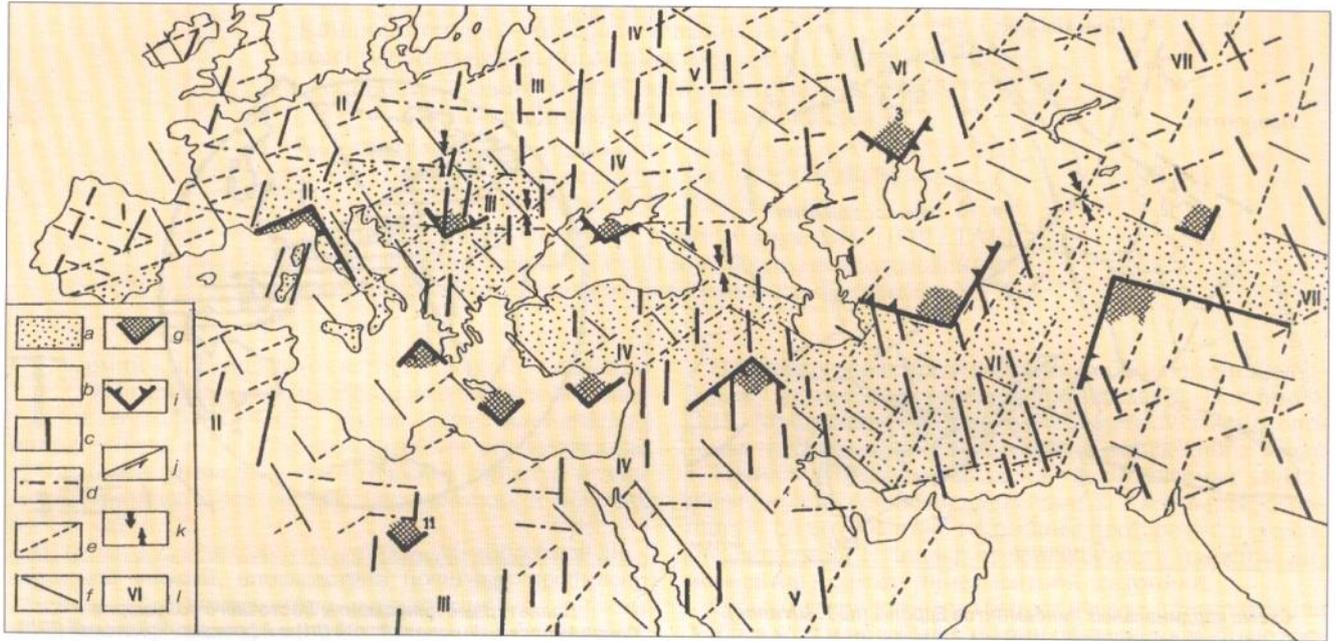


Рис. 5. Клиновидный характер глубинного сочленения платформ Евразии и Гондваны (исходный м-б 1 : 2 500 000) [по: Поletaев и др., 1984]: a – Средиземноморский складчатый пояс; b – платформы; c-f – линеаменты и их простирания; c – субмеридиональные, d – субширотные, e – северо-восточные, f – северо-западные; g – клинья образованные линеаменентами; i, j – направления смещений крыльев: i – вертикальное, j – горизонтальное; k – направление сжимающих усилий; l – названия субмеридиональных зон: I – Пиренейская, II – Альпийская, III – Балканская, IV – Крымская (Анатолийская), V – Кавказская, VI – Копетдагская, VII – Гималайская

С середины 80-х годов Лаборатория по договору с Московским отделением «Атомэнергопроект» начала проводить многолетние научно-исследовательские работы по геологическому доизучению районов расположения Смоленской и Курской АЭС, в результате которых были разработаны многие прикладные вопросы применения линеаментного анализа земной коры (ЛАЗК) (рис. 6).



Рис. 6. Слева: — рельеф района Смоленской АЭС; справа — отражение скрытых тектонических нарушений в мощности четвертичных отложений, установленное с помощью ЛАЗК (район Смоленской АЭС)

Но этот плодотворный период жизни Лаборатории, результаты работы которой были удостоены дипломов и премий ВДНХ и МОИП, Минвуза СССР и Всесоюзного общества «Знание», и запечатлённый на снимке (рис. 7), был резко прерван событиями начала следующего – третьего – 10-летия, т.е. начала 90-х годов прошлого века.



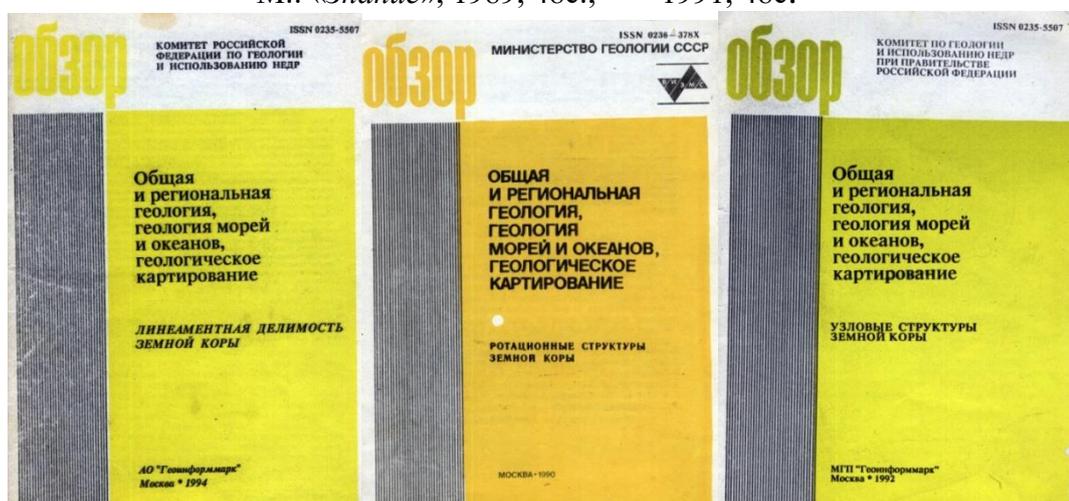
Рис. 7. Слева направо: Я.Г. Кац, Арк.В. Тевелев, Н.В. Макарова, Э.Ф. Румянцева (фото из статьи: Изучающие Землю / Газета «Московский университет», 5 апреля 1983, с. 3)

Тем не менее, несмотря на все негативные события начала 90-х годов, в течение третьего 10-летия, т.е. в 90-е годы прошлого века, Лаборатория, пусть и в сильно урезанном составе продолжила и договорные научно-исследовательские работы, и издания результатов работ (рис. 8), в которых рассматривались принципиально новые проблемы – узловые

структуры земной коры и её линеаментная делимость, а также элементы ротационной тектоники.



М.: «Знание», 1989, 48с.; 1991, 48с.



М.: «Геоинформмарк», 44с.;

44с.

51с.

Рис. 8. Издания Лаборатории 90-х годов прошлого века

Накопленный материал по изучению линементной тектоники отдельных космо-геологических полигонов – Курского, Смоленского, Московского и других, а также крупных блоков земной коры типа Восточно-Европейской платформы и Земли в целом позволил подготовить и с 1993 года читать студентам кафедры спецкурс «Линеаментный анализ земной коры», отдельные фрагменты которого позднее читались слушателям Академии МЧС (Новогорск), студентам Университета Природа, Общество и Человек (Дубна), Российского Университета дружбы народов и МГОУ имени В.С. Черномырдина.

Во второй половине 3-го 10-летия Лаборатория тесно контактировала с кафедрой инженерной геологии Геологического ф-та («Использование линеаментного анализа при создании геодинамических моделей эндогенной и экзогенной активности земной коры»: 1995

– 1996 гг.) и с кафедрой геокриологии Геологического ф-та («Изучение структуры Ганимеда – спутника Юпитера»: 1999 – 2000 гг). (рис. 9).

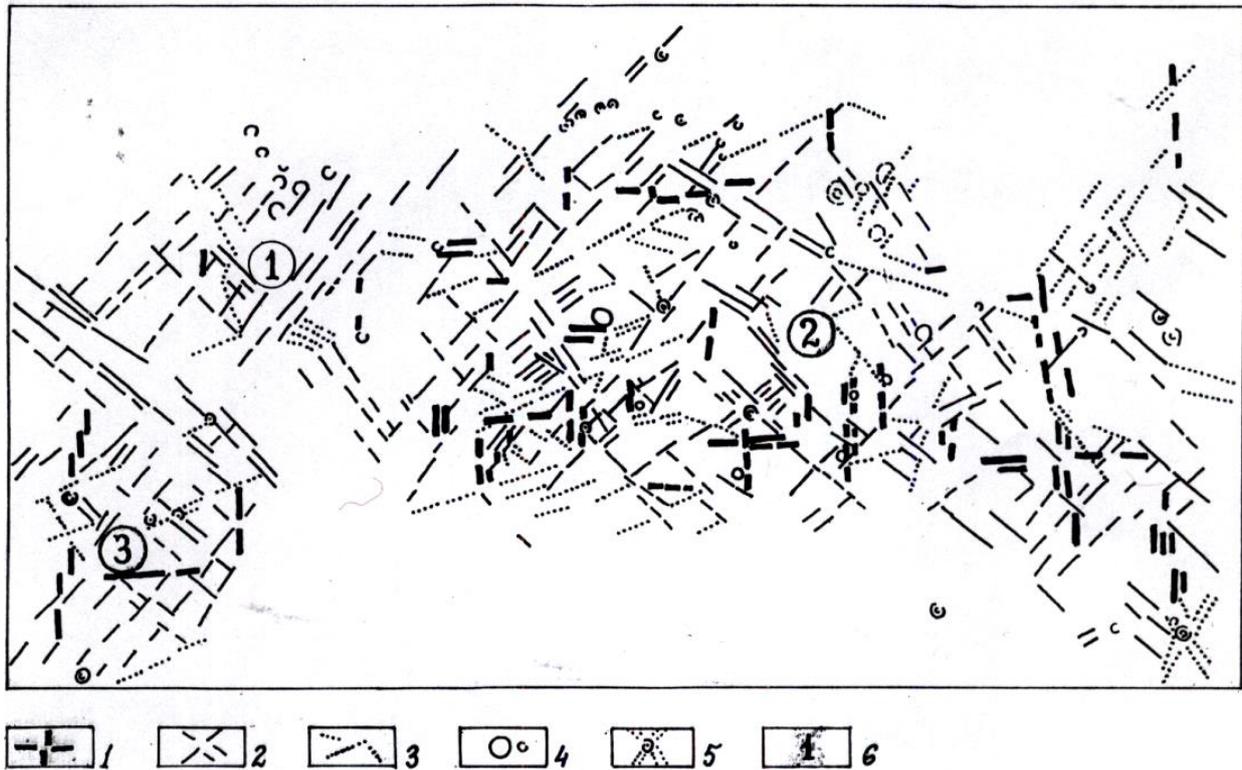


Рис. 9. Линеаментные системы спутника Юпитера – Ганимеда [Ершов и др., 2000]:

1-3 – линеаменты: 1 – ортогональные, 2 – диагональные, 3 – промежуточные, 4 – кольцевые структуры; 5 – узловые структуры; 6 – участки Ганимеда, отличающиеся характером линеаментного рисунка

Следует отметить, что именно силами Лаборатории с 1999 года стали проводиться кафедральные Горшковские чтения, продолжавшие 20 лет, т.е. до 2018 года. При этом, по результатам Горшковских чтений ежегодно издавались сборники докладов участников чтений (рис. 10), среди которых были не только сотрудники Лаборатории, но и сотрудники других кафедр факультета и сторонних геологических организаций Москвы. Особое внимание уделялось студенческим докладам, которые выделялись иногда в отдельную «Студенческую секцию».



Рис. 10. Сборник докладов XI-х Горшковских чтений, выпущенный к 100-летней годовщине со дня рождения Георгия Петровича Горшкова (1909 – 1984)

Четвёртое 10-летие работы Лаборатории, т.е. первое десятилетие XXI века, прошло под знаком активного изучения ротационной тектоники земной коры (рис. 11):

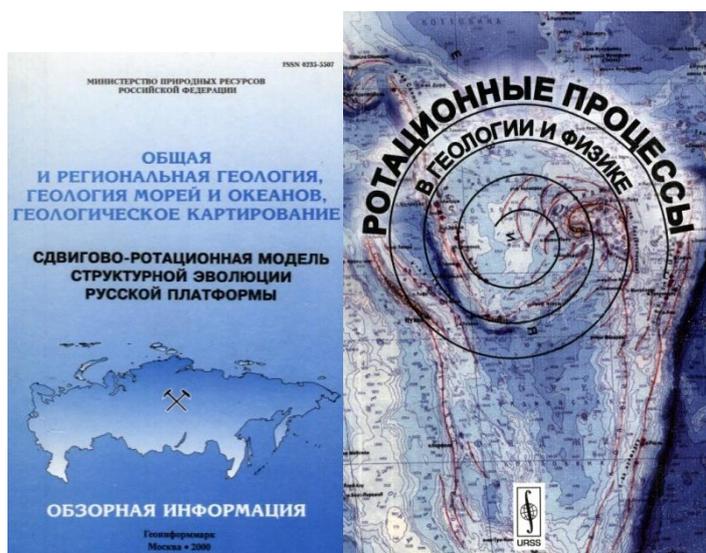


Рис. 11. Слева — «Общая и региональная геология, геология морей и океанов, геологическое картирование. Сдвигово-ротационная модель структурной эволюции Русской платформы» (М.: «Геоинформмарк», 2000, 44 с.); справа — «Ротационные процессы в геологии и физике» (М.: «КомКнига», 2007, 528 с.)

В начале этого 10-летия была опубликована «Сдвигово-ротационная модель структурной эволюции Русской платформы», а в середине – по инициативе Лаборатории и коллег из ИВиС ДВО РАН, под редакцией академика Е.Е. Милановского был издан сборник «Ротационные процессы в геологии и физике», объединивший оригинальные работы геологов

и физиков, географов, геодезистов и астрономов различных научных центров России – Москвы, Петропавловско-Камчатского, Владивостока, Томска и других городов, а также Болгарии и Польши, касающиеся широкого круга ротационных, вихревых и волновых движений.

В 2009 году был впервые прочитан спецкурс «Ротационная тектоника земной коры».

В эти же годы проводились совместные работы:

- с ООО «Совинтервод» и ЗАО «Технориск» (при МГУ) – «Изучение скрытых линейных нарушений земной коры Сирийского побережья Средиземного моря» (2004 – 2005) (рис.12).
- с НПО «Измерительные техники» – «Выявление скрытых тектонических нарушений на трассе прокладки инженерных сооружений на территории Смоленской области» (2007);
- с МГОУ (Московским Государственным открытым университетом им. В.С. Черномырдина): «Совершенствование учебного процесса с помощью внедрения в учебный процесс материалов дистанционного зондирования Земли» (2010 – 2011 гг.) (рис. 13).

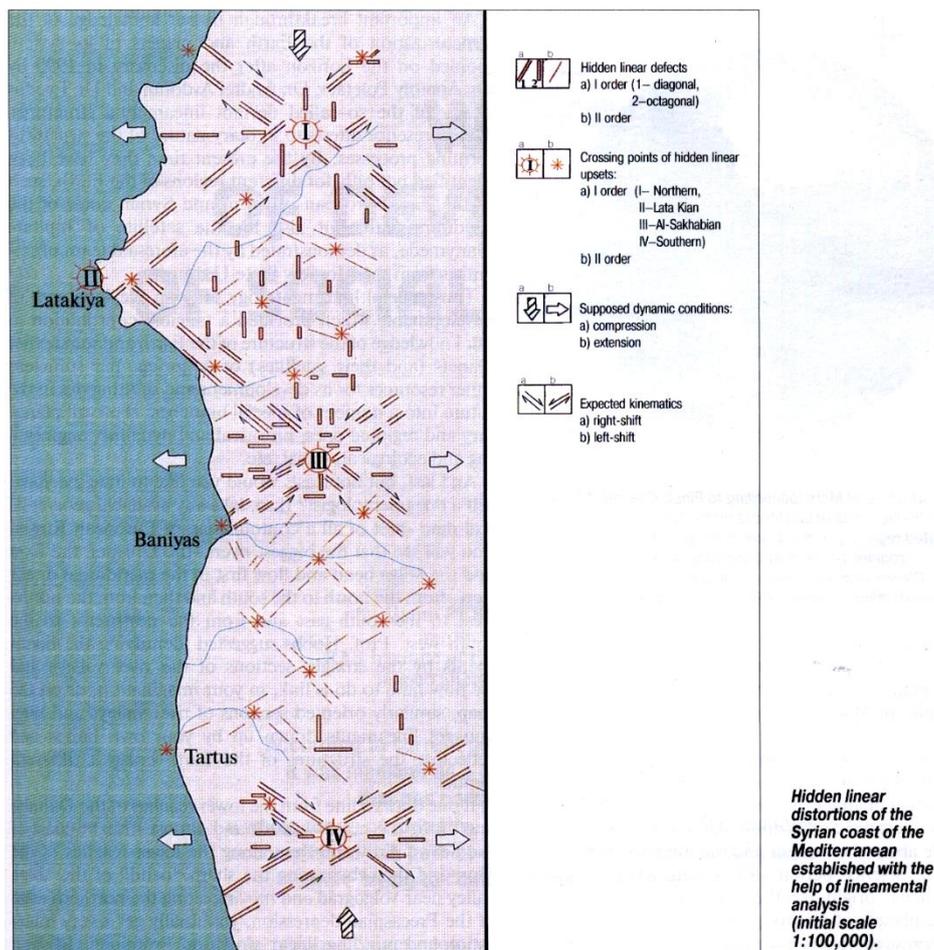


Рис. 12. Скрытые линейные нарушения земной коры Сирийского побережья Средиземного моря, выявленные с помощью линеаментного анализа земной коры

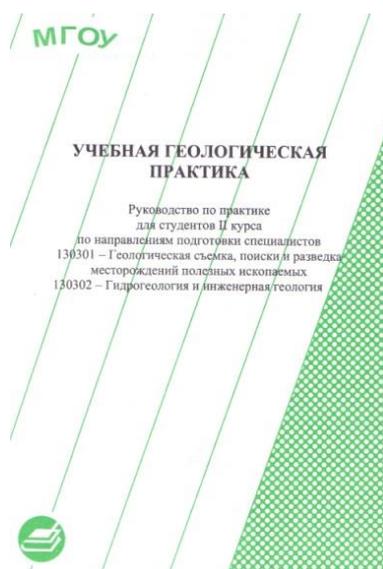


Рис. 13. Обложка книги «Учебная геологическая практика. Руководство для студентов II курса по направлениям подготовки специалистов 130301 — Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых; 130302 — Гидрогеология и инженерная геология»

В 5-м 10-летию Лаборатории исследования ротационного фактора в строении и развитии земной коры активно продолжились (рис. 14).



Рис. 14. Слева — «О понимании роли и значения ротационного фактора в образовании и развитии Земли» (М.: КД «Либроком», 2011, 200 с.); справа — «Вклад учёных геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова в изучение роли ротационного фактора в тектонике Земли» (М.: КД «Либроком», 2011. 72с.)

Параллельно с изучением ротационных, а также кольцевых и линейных (линеаментов) структур начали активно развиваться исследования клиновидных, узловых, дуговых и девиантных структур, объединённых в группу особых структурных форм (ОСФ) земной коры.

С 2017 года «Изучение влияния особых структурных форм — линейных (линеаментов), клиновидных, узловых, кольцевых и ротационных — на фильтрационные свойства геологической среды» проводится в рамках кафедральной программы «Новейшая геодинамика и её влияние на фильтрационные свойства геологической среды» (научный руководитель В.А. Зайцев).

Подводя итоги 50-летней жизни Лаборатории нельзя не отметить существенный вклад её сотрудников в различные области. В учебном процессе:

- сотрудниками Лаборатории созданы новые учебные курсы «Дистанционные методы в геологии», «Основы космической геологии», «Линеаментный анализа земной коры», «Ротационная тектоника земной коры», «Особые структурные формы (ОСФ) земной коры» и межфакультетский курс «Москва геологическая»;
- сотрудники Лаборатории участвовали и участвуют в проведении учебных геологических практик – Подмосковной, Крымской, Геолого-геоморфологической практики студентов факультета почвоведения в Чашниково;
- по инициативе Лаборатории с 2013 года для студентов 1-го курса нашей кафедры проводится Первая учебная геологическая практика на территории Московского мегаполиса (рис. 15, 16).

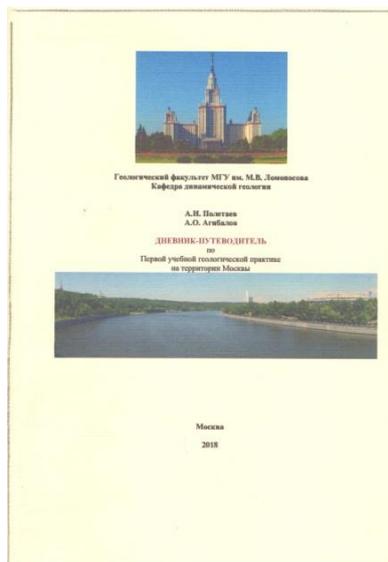


Рис. 15. «Дневник-путеводитель по Первой учебной геологической практике на территории Москвы»



*Рис. 16. Изучение долины реки Городня (Городенка) в районе ГМЗ «Царицыно», 2014 год
(фото А.В. Спиридонова)*

В научной области:

- десятки студентов защитили курсовые и бакалаврские работы, трое – Фёдор Котов, Екатерина Шереметьева и Ольга Мещерякова – магистерские;
- защищены три кандидатские диссертации – Т.П. Онуфриук, А.И. Полетаев и Тянь Сяочжо (Китай);
- Д.М. Трофимов – ведущий научный сотрудник Лаборатории – защитил докторскую диссертацию «Линейные дислокации и изометрические структуры Восточно-Европейской платформы (по космическим данным и результатам их геолого-геофизической интерпретации)».

В издательской деятельности:

- изданы Геоморфологическая и тектоническая карты Марса, Космотектоническая карта Восточно-Европейской платформы и Космотектоническая карта Ближнего и Среднего Востока;
- за эти годы сотрудниками Лаборатории издана целая библиотека книг, посвящённых различным проблемам применения космических методов в геологических исследованиях: общий тираж изданий – более 300 000 (!) экземпляров.

В прикладном поле с помощью дешифрирования космических снимков поверхности Земли:

- проведено детальное изучение инфраструктуры земной коры с целью выявления современных геодинамически подвижных зон и участков на Курском (в районе Курской АЭС), Смоленском (в районе Смоленской АЭС) и Московском космогеологических полигонах;
- уточнены взаимосвязи между скрытыми структурами земной коры и развитием современных геологических процессов – осыпных, обвальных, оползневых на территории Северо-Кавказского космогеологического полигона;
- выявлены закономерности размещения региональных и локальных структур, перспективных на нефтегазовые месторождения Малокавказского космогеологического полигона, бокситовые месторождения Тургайского прогиба и перспективные участки Куойкско-Молодинского кимберлитового поля.

В просветительской сфере:

- в 70е годы прочитаны специальные лекции в Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина;
- в 80-е – читались лекции по линии общества «Знание»; в 90-х – 2000-х годах готовились выставки и читались лекции для участников Дней открытых дверей;
- в 2018 году прочитана лекция в Большом Московском планетарии (рис. 17);
- в 2019 проведены две специальные геологические экскурсии участников «Клуба учёных МГУ» в ГМЗ Коломенское (рис. 18) и Царицыно;
- 20 февраля 2020 года по приглашению Лаборатории в Читальном зале Геологического факультета известный российский астроном, доктор физико-математических наук, профессор, Научный руководитель Института астрономии РАН, Председатель Экспертной группы по космическим угрозам при Совете РАН по космосу, член-корреспондент РАН Борис Михайлович Шустов прочитал лекцию «Космические угрозы и...»;
- в августе 2020 года – в так называемый межковидный промежуток – в издательстве URSS были записаны видео-ролики, рекламирующие научно-популярные книги Лаборатории (рис. 19), одна из которых – «Геология для всех...», впервые вышедшая 2007 году, выдержала уже 5 переизданий
- в сентябре – на платформе Teach-in были записаны два курса лекций :«Особые структурные формы (ОСФ) земной коры» и «Москва геологическая».



Рис. 17. Объявление о лекции «Сравнительная тектоника Земли и других планет»



Рис. 18. Участники Клуба учёных МГУ в ГМЗ «Коломенское». 21 мая 2019 г.



Рис. 19. Слева — «Геология для всех, или поговорим о странностях Земли», справа — «Вкрест простирания, или апология геологии»

В завершение следует особо отметить, что Лаборатория никогда не замыкалась в собственных стенах, а охотно шла на сотрудничество самого разного уровня:

на международном

– с сотрудниками университета Миннесоты (США) (при посредничестве кафедры гидрогеологии геологического ф-та МГУ) проведено предварительное сравнительное изучение линеamentной тектоники бассейнов рек Миссисипи и Волги;

на межвузовском

– с сотрудниками кафедры экологии и наук о Земле Уиверситета Природы, Общества и Человека «Дубна» разрабатывались различные аспекты применения космических материалов при геоэкологических исследованиях Верхне-Волжского космогеологического полигона;

на межфакультетском

– с сотрудниками Географического факультета МГУ проводились многолетние совместные исследования по корректировке структурного контроля различных месторождений полезных ископаемых;

на межкафедральном

– проводились различные исследования с сотрудниками кафедр геокриологии, гидрогеологии, инженерной геологии и геофизических методов исследований.

Отметим и культурологический аспект работы Лаборатории, т.к. именно благодаря её сотрудникам были изданы несколько сборников стихов студентов, преподавателей и сотрудников Геологического факультета (рис. 20).



Рис. 20. Обложки сборников стихов студентов, преподавателей и сотрудников Геологического факультета МГУ

ИЗБРАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Агibalов А.О., Полетаев А.И. Опыт проведения геологической практики студентов 1 курса кафедры динамической геологии МГУ им. М.В. Ломоносова на территории Московского мегаполиса / Материалы Всероссийской научной конференции «Современные проблемы динамической геологии». М.: Перо. 2021. С. 4–11.

Бондарь И.В. Структура земной коры Мытищинского района Подмосковья (по наземным и дистанционным данным) / Актуальные проблемы региональной геологии и геодинамики // XVII Горшковские чтения. Материалы конференции, посвященной 106-й годовщине со дня рождения Г.П. Горшкова (1909 – 1984). МГУ, 28 апреля 2015г. М.: МГУ, 2015. С. 39–42.

Варова Л.В. Линеamentная тектоника Юго-западной части Крымского полуострова // Актуальные проблемы региональной геологии и геодинамики. Третьи Горшковские чтения. Мат-лы конференции, 26 апреля 2001 г. М.: МГУ, 2001. С. 1–4..

Геологическое дешифрирование космических снимков Восточной части Средиземноморского пояса. Ред. В.Е.Хайн, Я.Г. Кац. М.: Недра, 1981. 205с.

Ершов Э.Д., Полетаев А.И., Кучуков Э.З., Брушков А.В., Ершов В.Д. О связи процессов криолитогенеза и инфраструктуры Ганимеда (по данным линеamentного анализа) // Вестник Моск. ун-та. Серия 4. Геология, 2000. №2. С.33 – 37.

Иванов В.А., Полетаев А.И. Опыт линеаментного и палеотектонического анализов размещения бокситовых месторождений (на примере Северной части Туранской плиты) // Изв. ВУЗов. Геол. и разведка, 1988. № 1. С.131–136.

Кац Я.Г., Козлов В.В., Полетаев А.И. Ротогенез Земли: структурный анализ и проблемы. М.: Знание, 1991. 40с.

Кац Я.Г., Козлов В.В., Полетаев А.И., Сулиди-Кондратьев Е.Д. Кольцевые структуры Земли: миф или реальность М.: Наука, 1989. 190с.

Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф. Основы линеаментной тектоники. М.: Недра, 1986. 144с.

Кочев Д.З., Полетаев А.И. Скрытые тектонические нарушения земной коры: природные факторы – опасные для устойчивого функционирования техногенных сооружений // Актуальные проблемы региональной геологии и геодинамики. Материалы конференции, посвященной 101-й годовщине со дня рождения Г.П.Горшкова (1909–1984). XII Горшковские чтения. М.: МГУ, 2010. С. 10–16.

Макаров В.И., Полетаев А.И., Махорин А.А., Дудкин С.Ю. Проявление активных тектонических нарушений на космических радиолокационных изображениях и некоторые результаты линеаментного анализа центральной части Большого Кавказа // Исслед. Земли из космоса, 1994. № 4. С.58–67.

Махорин А.А., Полетаев А.И. Значение линеаментного анализа горных территорий для изучения экзогенных геологических процессов (на примере Северного Кавказа) // Изв. ВУЗов. Геол. и разведка, 1989. № 1. С. 133–136.

Махорин А.А., Полетаев А.И., Кучуков Э.З. Инженерная линеаментология Московского региона // Теоретические проблемы инженерной геологии // Труды Междунар. научн. конференции (Россия, Москва, МГУ, 25–26 мая 1999г.). М.: МГУ, 1999. С. 69–70.

Полетаев А.И. Узловые структуры земной коры. М.: МГП «Геоинформмарк», 1992. 52с.

Полетаев А.И. Линеаментная делимость земной коры. М.: МГП «Геоинформмарк», 1994. 48с.

Полетаев А.И. Сдвигово-ротационная модель структурной эволюции Русской платформы. М.: «Геоинформмарк», 2000. 44с.

Полетаев А.И. Клиновидная тектоника Земли / Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ // Материалы XLVIII Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2016. Т. 2. С. 79–83.

Полетаев А.И. Клиновидные и дуговые структуры Земли: морфология и генезис; сходство и различия // Актуальные проблемы региональной геологии и геодинамики. XVIII

Горшковские чтения. Материалы конференции, посвящённой 107-й годовщине со дня рождения Г.П. Горшкова (1909 – 1984). МГУ, 28 апреля 2016 г. М.: МГУ, 2016. С. 12–23.

Полетаев А.И. Клиновидные структуры земной коры // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2016. Т. 91. Вып. 4–5. С. 40–50.

Полетаев А.И. Линеаменты: споры, неточности и ошибки при выделении и изучении этих особых структурных форм // Динамическая геология». 2019. № 3. С. 39–69.

Полетаев А.И., Борисов М.Е., Котов Ф.С., Курбатов А.Н. Линеаментная тектоника Московского региона. // Ежегодная научная конференция «Ломоносовские чтения», 23 – 29 апреля 1997 г. М.: МГУ, 1997. С.90–91.

Полетаев А.И., Истомин В.А., Палечек Р.М. Линеаментная тектоника Куойкско-Молодинского кимберлитового поля // Изв. ВУЗов. Геол. и разведка. 1994. № 1. С.152–154.

Полетаев А.И., Каграманов Ю.Р., Караханян А.С., Кац Я.Г. Роль линеаментной тектоники в структурно-информационном прогнозировании газонефтяных месторождений в Малокавказском регионе // Изв. ВУЗов. Геол. и разведка. 1992. № 1. С.16–32.

Полетаев А.И., Кац Я.Г., Леонов Н.Н. Выявление активных разрывно-линеаментных структур района Смоленской АЭС (по данным визуального и автоматизированного линеаментного анализа) // Цифровая обработка видеоинформации при структурно-геологических и сейсмодектонических исследованиях. Л.: ВСЕГЕИ, 1991. С. 42–55.

Полетаев А.И., Орлов М.С., Караковский В.В. Взаимосвязь линеаментных структур и гидрогеологических аномалий в Красногорском районе Московской области // Динамическая геология в XXI веке: проблемы и перспективы. Материалы всероссийской конференции. М.: Перо, 2013. С. 40–41.

Рельеф, тектоника и вулканизм Марса. (Кац Я.Г., Козлов В.В., Макарова Н.В. и др.) ВНИИ Зарубежгеология. Труды. Вып. 39. М.: Недра, 1982.106с.

Сонюшкин В.Е., Фёдоров А.Е., Полетаев А.И. Корреляция морфологии ядра Земли и планетарных геологических структур // ДАН. 1993. Т. 332. № 4. С. 479–481.

Трофимов Д.М. Об интерпретации линейно-купольной тектоники Восточно-Европейской платформы (структуры 1 порядка по данным дешифрирования космических снимков) / Изв. ВУЗов. Геол. и разведка. 1981. № 2. С. 17–23.

Трофимов Д.М. Глубинная структура Восточно-Европейской платформы по данным дешифрирования космоснимков // Изв. ВУЗов. Геол. и разведка. 1981. №3. С. 21–30.

Трофимов Д.М., Кац Я.Г., Полетаев А.И. Объяснительная записка к «Космотектонической карте Восточно - Европейской платформы и ее обрамления». М – б 1:2 500 000 / Ред. В.Е. Хаин. – М.: Минвуз СССР, Мингео СССР, 1986. 72 с.

Хаин В.Е., Полетаев А.И. Ротационная тектоника Земли // Наука в России. 2007. № 6. С. 14-21.

Шереметьева Е.В. Изучение скрытых тектонических нарушений и глубинных неотектонических процессов Московской синеклизы при помощи линеаментного анализа // Разведка и охрана недр. 2014. № 7. С. 3–6.

Шереметьева Е.В., Богословский В.А., Кочев Д.З., Полетаев А.И., Спиридонов А.В. Линеаментный анализ как наиболее экологичный и инвестиционно привлекательный способ оценки инженерно-геологических условий территорий проектируемого строительства // Сергеевские чтения. Устойчивое развитие: задачи геоэкологии (инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты). Молодёжная конференция. Выпуск 15. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (21–22 марта 2013 г.). М.: РУДН, 2013. С. 204–208.

Яценко М.И. Структурная позиция вулкана Ололицки Транс-Мексиканского вулканического пояса (по данным линеаментного анализа) /Актуальные проблемы региональной геологии и геодинамики // XV Горшковские чтения. Материалы конференции, посвящённой 104-й годовщине со дня рождения Г.П. Горшкова (1909–1984). МГУ, 26 апреля 2013г. – М.: МГУ, 2013. С. 13–17.

Khain V., Poletaev A. Earth's rotation tectonics // Science in Russia. 6/2007. P.14– 21.

УДК 551.1/4

**МОСКВА ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ:
НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА «ХОРОШО ИЗУЧЕННУЮ» ТЕРРИТОРИЮ**

А.И. Полетаев, А.О. Агибалов

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Интерес к изучению геологии столичного региона возник из ситуации весьма далекой от геологии. Дело в том, что в последние годы в СМИ мелькали сообщения о самых различных «оттенках» нашей столицы: от Москвы архитектурной до Москвы купеческой, от Москвы театральной до Москвы усадебной, от Москвы Булгаковской до Москвы Есенинской и т. д. Но ни разу не встречалась «Москва геологическая». С другой стороны, нам неоднократно приходилось встречаться с мнением о том, что территория Москвы, как и территория Восточно-Европейской платформы, на которой она расположена, хорошо изучена в геологическом отношении [Апродов, Апродова, 1963; Архангельский, 1934;1946; Белая и др., 2001; Богословский и др., 1993; Бондарь, 2015; Востоков, 1997; Карасик, Певнев, 1997; Кац и др., 1997; Костюченко, Солодилов, 1997; Кузьменко, 1994; Новаковский, Симонов, 2005; Орлов, 1997; Осипов и др., 2006; Петренко, Лихачева, 1979; Семихатов, 1955; Шереметьева, 2014], и с представлением, что территория Москвы, как и территория собственно платформы, стабильный блок земной коры. Эта точка зрения все чаще противоречила результатам наших исследований, которые мы проводили, в том числе, в ходе Геолого-геоморфологической практики студентов 1-го курса факультета почвоведения нашего Университета (в Чашниково) [Панина и др., 2017] и Первой учебной геологической практики студентов нашей кафедры на территории Московского мегаполиса [Полетаев, Агибалов, 2018], а также в процессе преподавания межфакультетского курса «Москва геологическая» [Агибалов, Полетаев, 2020].

В результате многолетних исследований, проведенных Лабораторией геологических исследований космическими методами, на территории Московского региона установлены ранее не известные структурные формы:

- **линейные (линементы)**, впервые выделенные Дж. Скиапарелли в 1877 году на Марсе, а на Земле в 1904 году У.Г. Хоббсом [Hobbs, 1904];
- **клиновидные**, впервые выделенные в 1888 году А.П. Карпинским [Карпинский, 1888];
- **дуговые**, впервые выделенные в 1669 году Нильсом Стенсеном [Стенсен, 1957], а затем У.Г. Хоббсом, Ли, Токуда – в первой трети XX века [Мушкетов, Мушкетов, 1935];
- **узловые**, впервые выделенные в 1530 году Георгом Бауэром (Агриколой) [Гордеев, 1957];

– **кольцевые**, впервые выделенные Галилео Галилео в 1603 году на Луне [Галилей, 1610], а на Земле, в виде кольцевых даек, – через 300 лет, т.е. в 1904 году шотландцем Харкером [Кац и др., 1989];

– **девиантные**, впервые выделенные в 1999 году [Полетаев и др., 1999];

– **ротационные**, впервые выделенные Ли Сыгуаном в 1955 году [Ли Сыгуан, 1958].

Характерно, что все эти структурные формы, известные задолго до применения космических методов исследования Земли, оставались не востребованными ни в геологической теории, ни в геологической практике. Между тем, их открытия углубляли и расширяли понимание структурных закономерностей и особенностей земной коры и, как теперь выясняется, и «кор» других планетных тел. Поэтому вполне закономерно, что в 1996 году О.П. Ивановым [Иванов, 1996], а в 1999 году – Н.П. Костенко, Н.В. Макаровой и Н.И. Корчугановой [Костенко и др., 1999] было предложено рассматривать линеаменты и кольцевые структуры в виде особых структурных форм (ОСФ). В 2012 году к особым структурным формам были отнесены девиантные и ротационные структуры [Полетаев, 2012], а в 2016 – клиновидные и дуговые [Полетаев, 2016].

В данной работе к ОСФ относят структуры линейные (линеаменты), клиновидные, дуговые, узловые, кольцевые, девиантные и ротационные, которые:

а) развиты, как правило, в скрытой – латентной – форме и выявляются, как правило, с помощью структурно-геоморфологического дешифрирования различных картографических материалов, АФС и КС;

б) индицируют скрытые же тектонические нарушения (СТН), часто влияющие на развитие различных природных и техногенных процессов;

в) часто «выпадают» из поля зрения не только исследователей, но и преподавателей структурной геологии, региональной геологии, геотектоники и геодинамики, существенно обедняя теоретическую подготовку бакалавров, магистров и аспирантов геологических специальностей [Полетаев, 2015].

Анализ публикаций, содержащих сведения о названных выше структурах, показал, что за последние 50 лет об особых структурных формах земной коры накопился огромный банк разрозненных данных. При этом есть исследователи, которые подвергают сомнению не только корректность выделения ОСФ, но и достоверность их реального нахождения в геологическом пространстве. Тем не менее, тот же анализ свидетельствует, что для понимания не только современной геодинамики, но и некоторых техногенных и антропогенных процессов, отдельные из ОСФ могут иметь весьма существенное значение.

На территории Московского региона найдены и выделены с различной степенью достоверности линейные ОСФ – линеаменты, клиновидные, узловые, дуговые, кольцевые, девиантные и ротационные.

Линеаменты – достаточно равномерно развитые по всей территории Московского региона, выявляются по анализу схем эрозионной сети и космических снимков разного – от 1 : 1 000 до 1 : 1 000 000 – масштабов (рис. 1). Некоторые линеаменты коррелируют с линейно расположенными концентрациями подпочвенного радона, например, в районе Чертаново [Макаров и др., 2003], а некоторые — с элементами глубинного строения столичного региона (рис. 2, 3). Например, линеаментная зона по линии Очаково (на западе) – Люберцы (на востоке) индицирует разлом фундамента.

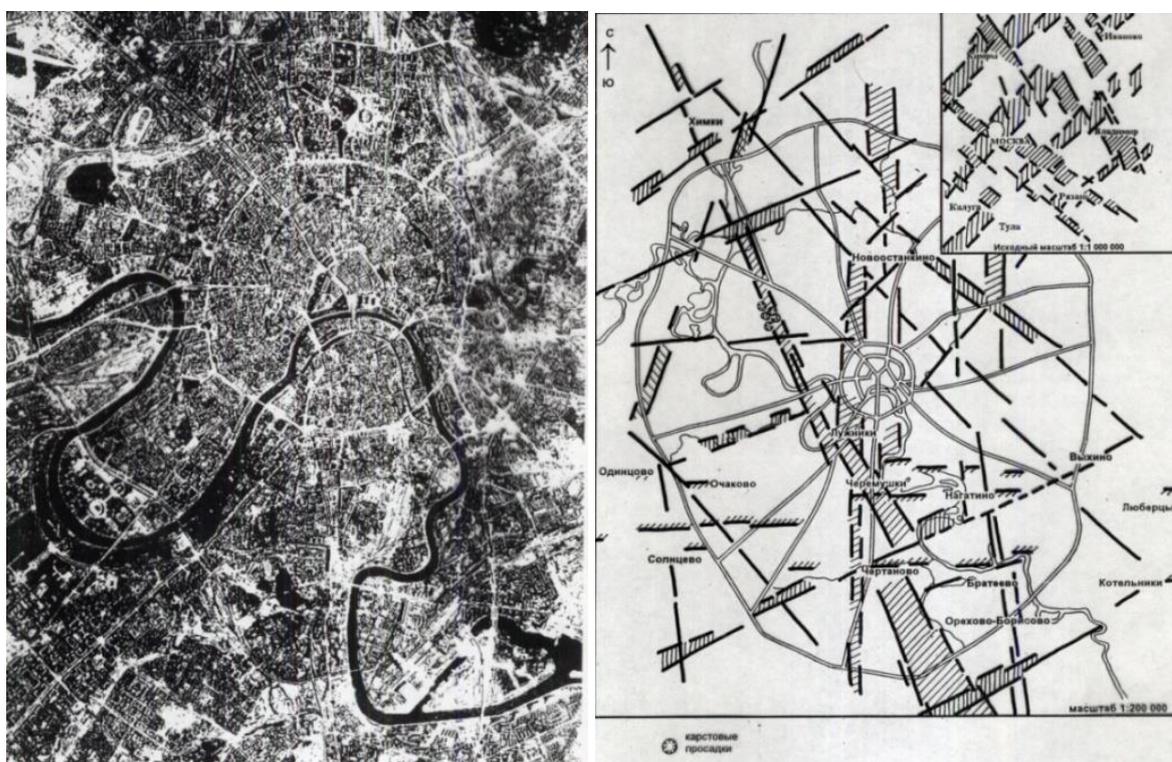


Рис. 1. Космический снимок Москвы (исходный м-б 1 : 50 000) (слева) и схема линейных образований г. Москвы: исходный масштаб 1 : 200 000, врезки – 1 : 1 000 000 (справа)

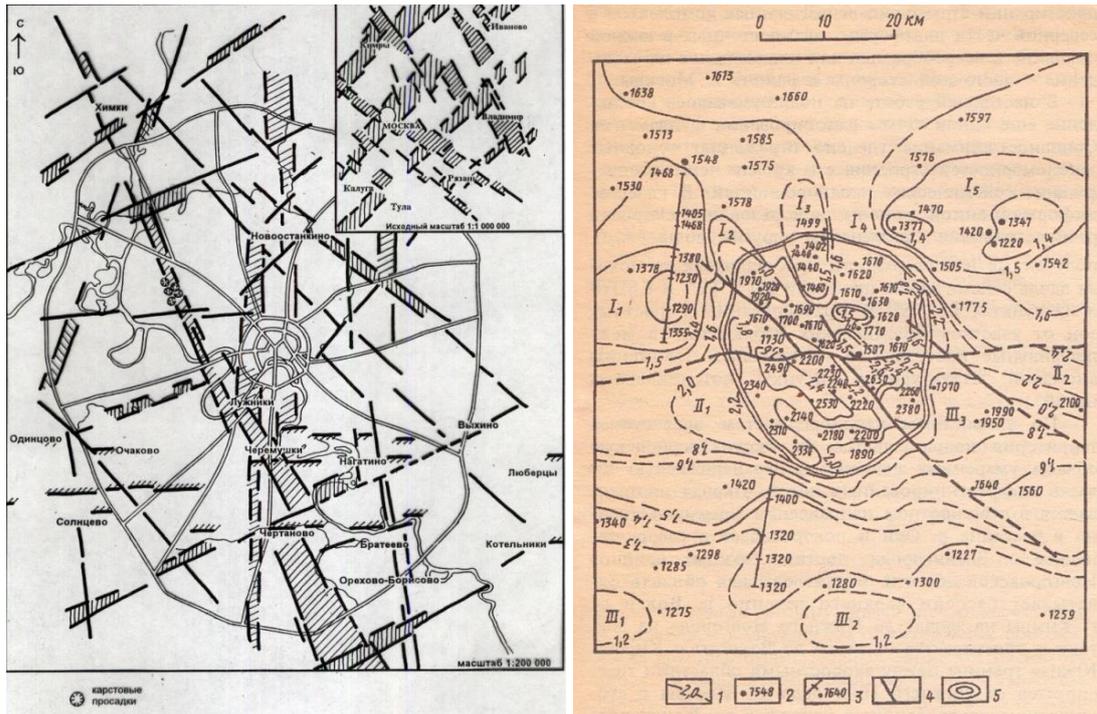


Рис. 3. Сопоставление схем линейных элементов Москвы (слева) и структуры поверхности фундамента (справа) [Костюченко, Солодилов, 1997]: 1 – изолинии глубин уверенные и предполагаемые (км); 2 – отметки фундамента в глубоких скважинах (м); 3 – значения глубин по данным преломленных волн на профилях и в точках зондирований (м); 4 – рельефообразующие разломы; 5 – кольцевая автодорога. Римскими цифрами обозначены: I – Истринско-Кольчугинская приподнятая область: I₁ – Красногорский выступ, I₂ – Тушинский грабен, I₃ – Бескудниковский горст, I₄ – Лосиноостровский грабен, I₅ – Щелковский выступ; II – Московский грабен, II₂ – Павловопосадский грабен; III – Тумско-Шатурский выступ: III₁ – Апрелевское поднятие, III₂ – Подольское поднятие, III₃ – Люберецкий локальный выступ

Клиновидные структуры [Полетаев, 2016а,б] – четко диагностируются по изменениям фототона и фоторисунка космических снимков (рис. 4) и по взаимоотношению основной реки региона и ее притоков – рек и ручьев. Эти структуры имеют важное «фортификационное» значение при защите древних поселений, часто возникавших именно внутри таких клиньев. Так, неолитическое Дьяковское поселение, ныне расположенное на территории Государственного музея-заповедника «Коломенское», возникло на клиновидной площадке ограниченной с востока полноводной Москвой-рекой, а с северо-запада – глубоким Дворцовым оврагом (рис. 5). Сама Москва зародилась также внутри клина, образованного с юга Москвой рекой, а с запада – северо-запада – Неглинкой (рис. 6).



*Рис. 4. Верхневолжская (вверху) и Московская (внизу)
клиновидные структуры, четко выделяющиеся более светлым фототоном
космического снимка*

Многие исторически сложившиеся поселения человека приурочены к клиновидным структурам, по которым развивались эрозионные потоки, служившие естественными преградами для противника. Например, Москва «зародилась» на «стрелке» рек Москвы и Неглинки, защищавших ее от нападения с юга и запада.



Рис. 5. Овраги, развитые в районе ГМЗ «Коломенское» [Семихатов, 1955], образуют клиновидные структуры с долиной реки Москвы: 1 – апт, 2 – неоком, 3 – юра, 4 – овраги, 5 – оползни

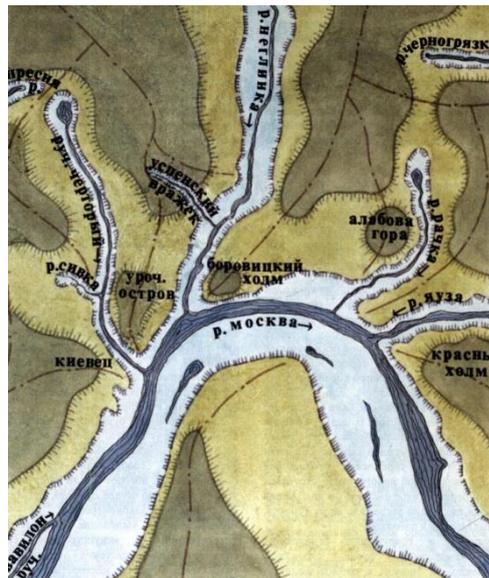


Рис. 6. Клиновидное соотношение реки Москвы и Неглинки, по: [Кудрявцев, 1994]

Узловые структуры широко развиты в линейных полях любого масштаба [Полетаев, 1992], и Московский регион – не исключение [Востоков, 1997] (рис. 7). Эти структуры могут обладать повышенной / концентрированной проницаемостью и, соответственно, фильтрацией различных газов и флюидов. Примеры: повышенные эманации

водорода, приуроченные к узловым структурам Чашниковской впадины (Подмосковье) [Панина, 2017]; воклюзы в русле ручья Дворцового оврага в ГМЗ «Коломенское» (рис. 8).

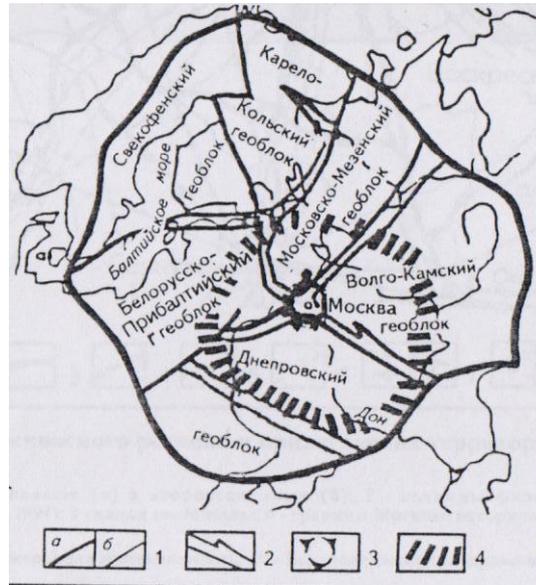


Рис. 7. Московский тектонический узел. Упрощенная схема геоблоков, по: [Красный, 1992], из: [Востоков, 1997]: 1 – границы платформы (а) и основных геоблоков (б); 2 – авлакогены; 3 – Московский тектонический узел (район сочленения авлакогенов); 4 – условные границы области с наиболее погруженной поверхностью Мохо (40 – 50км) и относительно низкими значениями теплового потока



Рис. 8. Овраги и восходящие источники воды (воклюзы), развитые в районе ГМЗ «Коломенское». Слева – схема оврагов ГМЗ «Коломенское», по: [Семихатов, 1955]: 1 – апт, 2 – неоком, 3 – юра, 4 – овраги, 5 – оползни; справа – воклюзы в русле ручья Дворцового оврага (фото О.А. Мещеряковой, 2018)

Не исключено, что именно к узловым структурам приурочены карстово-суффозионные провалы, появляющиеся на территории Москвы (рис. 9).



Рис. 9. Карстово-суффозионный провал на Большой Дмитровке (1998 г.), фото В.М. Кутенова

Связь гидрогеологических «окон» с узловыми структурами прекрасно показана в диссертации В.В. Караковского [2017] (рис. 10).

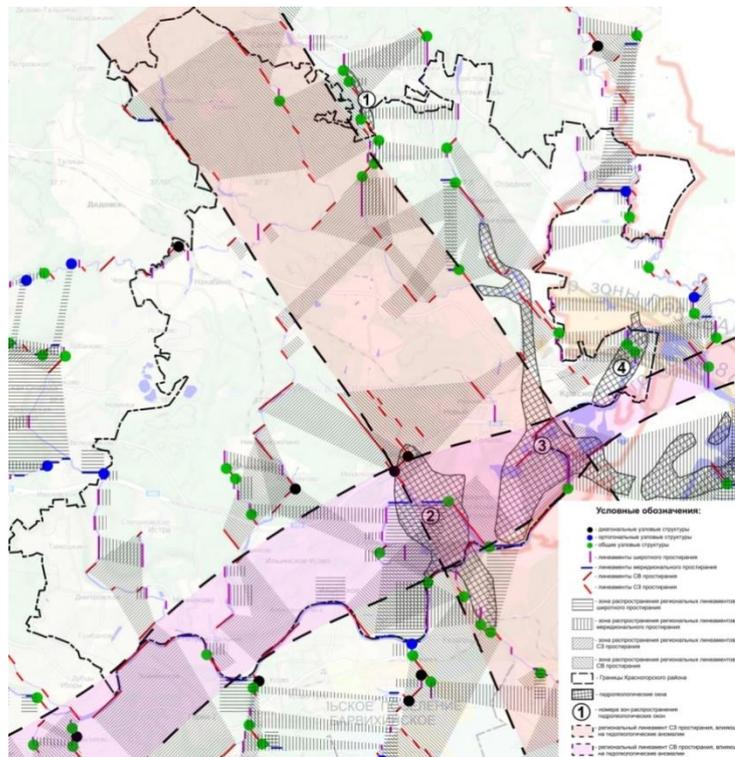


Рис. 10. Схема сопоставления гидрогеологических аномалий и линеаментных структур Красногорского района Москвы [Караковский, 2017]

Согласно рисунку 10, можно сделать вывод о том, что скопление участков распространения гидрогеологических окон совпадает с пересечением региональных линеаментов СЗ и СВ простираний, т.е. с узловыми структурами.

Дуговые структуры очень тесно связаны с кольцевыми, развиты по всей территории Московского региона, в целом, и собственно Москвы, как показано в книге [Москва..., 1997] (рис. 11).

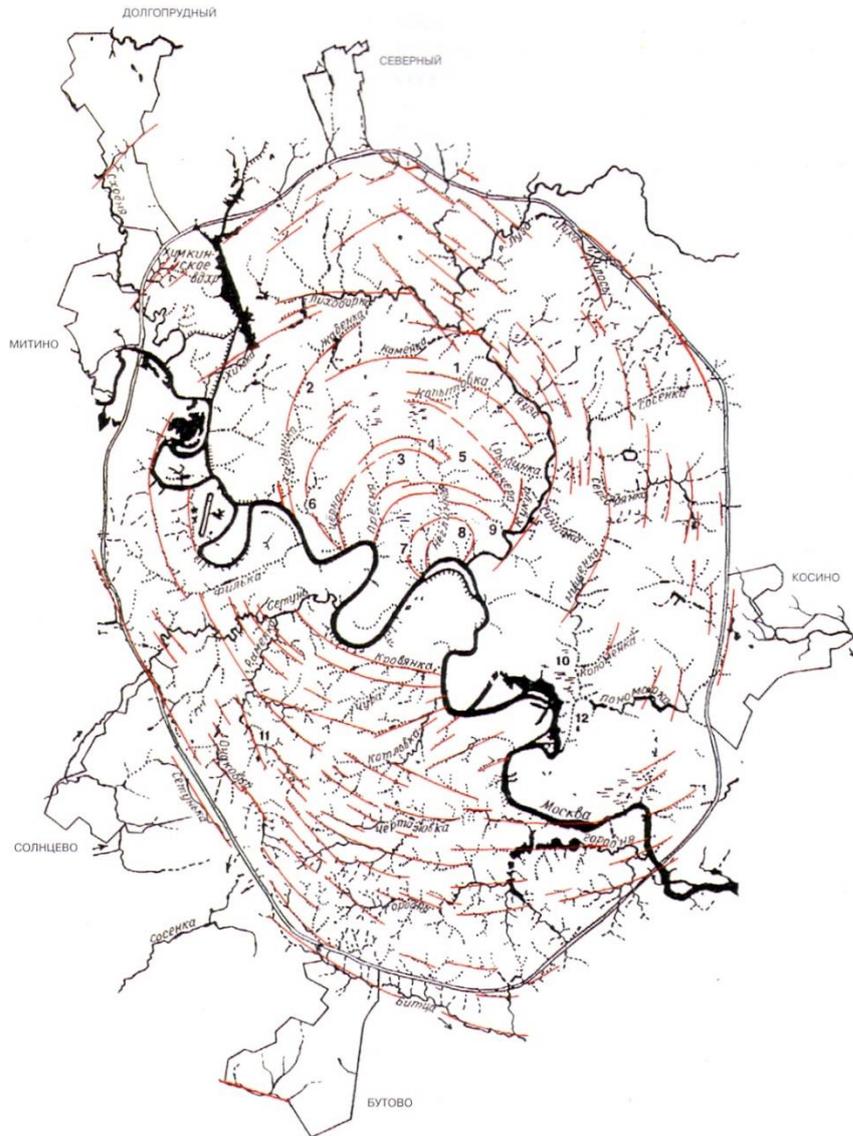


Рис. 11. Дугообразные линеаменты, установленные по гидрографической сети г. Москвы [Москва..., 1997]. Сплошными красными линиями обозначены линеаменты – спрямленные участки эрозионных понижений. Цифрами обозначены: 1 – Останкинский ручей, 2 – р.Таракановка, 3 – р. Кабанка, 4 – р. Самотека, 5 – р. Капля, 6 – р. Ермаковский, 7 – руч. Черторный, 8 – р. Рачка, 9 – р. Черногрязка, 10 – Сукино болото, 11 – р. Самородинка, 12 – р. Граворонка

Следует заметить, что изучение дуговых структур, мощно – сводкой около 50 страниц (рис. 12) - начатое в классической работе отечественной геологии [Мушкетов, Мушкетов,

1935] по причинам очень далеким от геологии было «приостановлено» почти на полвека (рис. 12)!



Иван Васильевич
МУШКЕТОВ
(1850 – 1902)



1935



Дмитрий Иванович
МУШКЕТОВ
(1882 – 1938)

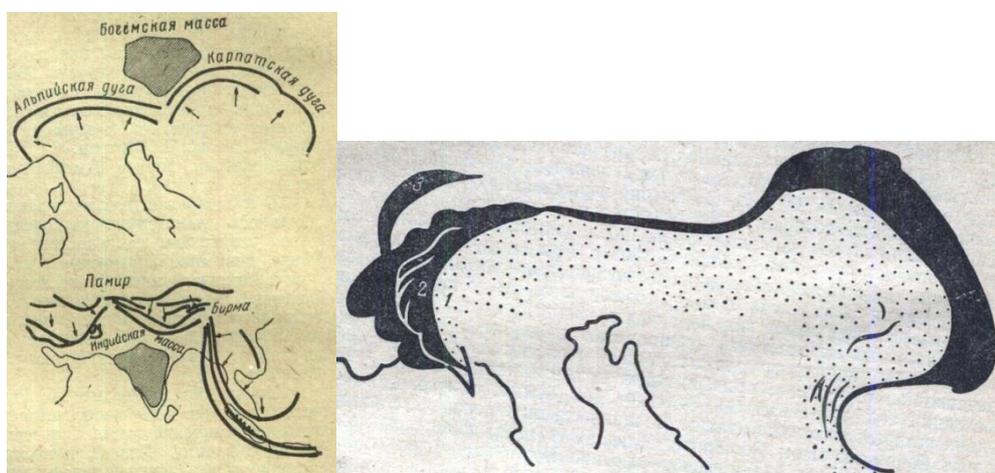


Рис. 12. Схема отношения складчатых альпийских дуг Европы и Азии к устойчивым массивам, по: [Хоббс, 1921], из: [Мушкетов, Мушкетов, 1935]. Жирные линии – складчатые альпийские дуги; косая штриховка – устойчивые массивы; черные точки – современные вулканы; стрелки показывают направление движения масс.

В последние 40 лет ситуация стала меняться. Особенно хотелось бы обратить внимание на интереснейшие работы Михаила Львовича Коппа (см. список литературы).

Кольцевые структуры также широко развиты в земной коре [Кац и др., 1989], известны и в Московском регионе. Наиболее четко выражены Истринская и собственно

Московская (рис. 13) кольцевые структуры. Московская кольцевая структура индицируется полукольцом, которое образует Яуза – левый приток Москвы-реки. Эта структура, вкупе с радиальными линеаментами, предопределила радиально-кольцевой характер исторического обживания данной территории, а в новое время и архитектурно-планировочные решения (рис. 14).

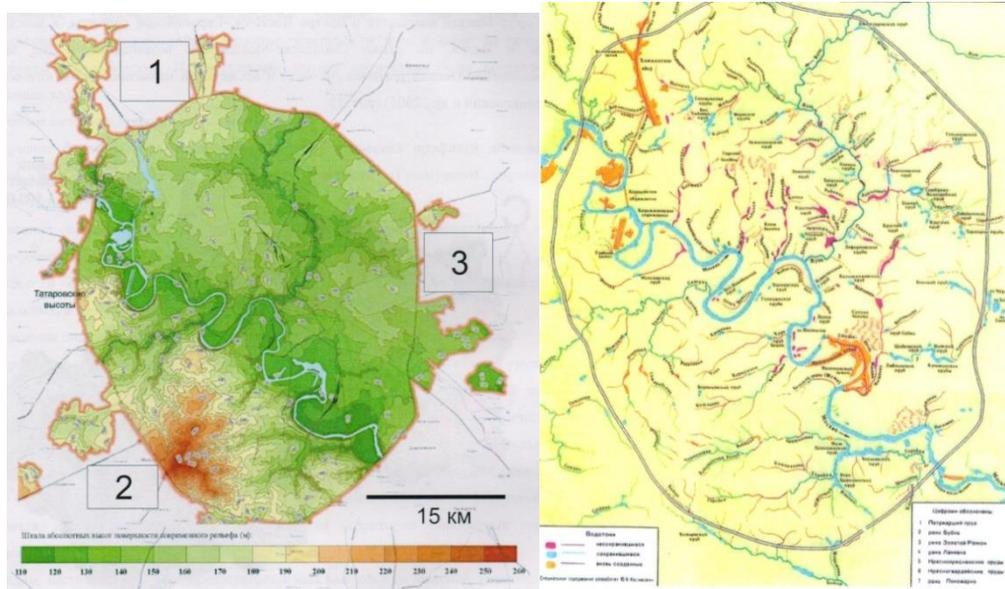


Рис. 13. Гипсометрическая (слева) и гидрографическая (справа) схемы Москвы [Гипсометрическая..., 2020; Гидрографическая..., 2020]

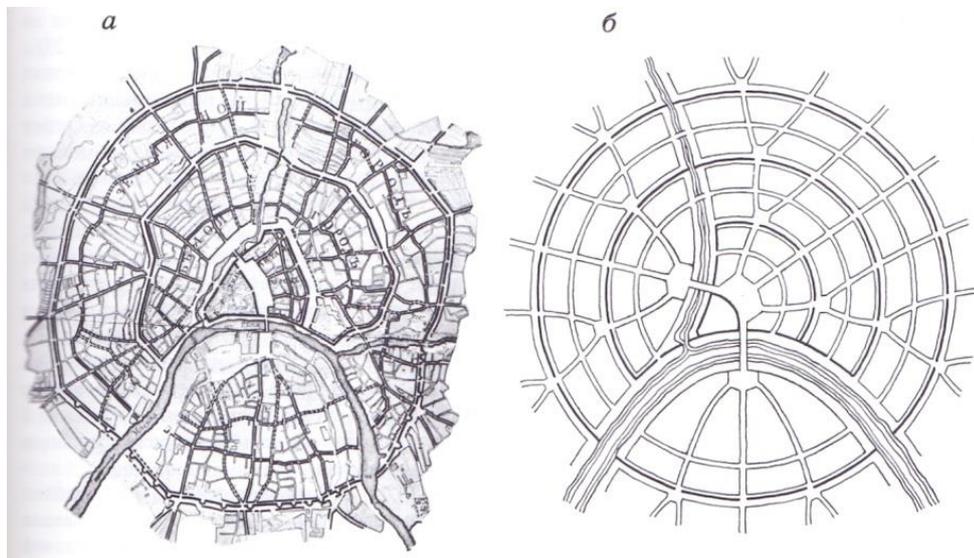


Рис. 14. Планировка Москвы XVII в.: а – реальная ситуация; б – идеализированная схема. Схема Г.Я. Мокеева, из работы [Кудрявцев, 1994]

Девiantiные структуры, выделенные на территории Московского региона по линеаментам, отклоняющимся от простираения стандартной линеаментной матрицы

[Полетаев, 2000] (рис. 15, 16), могут быть индикаторами возможных вращательных движений блоков земной коры данного региона в направлении против часовой стрелки.

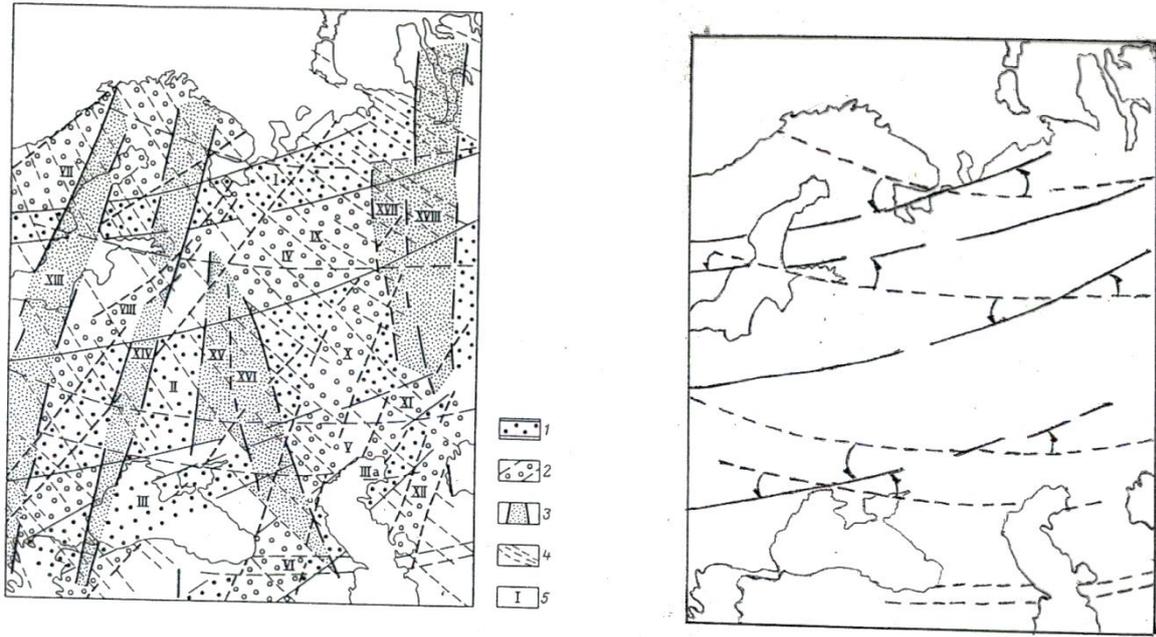


Рис. 15. Схема линеаментов ВЕП. Слева – линеаменты ВЕП, справа – девиантные (отклоняющиеся от стандартных простираний) линеаменты ВЕП, которые могут быть индикаторами вращательных (ротационных) движений блоков земной коры, их содержащих, и ВЕП в целом [Полетаев, 2000]

Более детальный линеаментный анализ обнаружил девиантные структуры и на территории Московского региона (рис. 16).



Рис. 16. Схема девиантных структур Московского региона. Стрелки между точечными и линейными структурами указывают на возможный левосторонний поворот этого блока [Полетаев, 2000].

Ротационные структуры, установленные даже в атмосфере Московского региона (рис. 17), на его земной поверхности «в чистом виде» не выделены, но характер девиантных структур (см. рис. 15, 16) позволяет сделать вывод о возможном повороте блока Московского региона, против часовой стрелки, что не противоречит аналогичным представлениям, выдвинутым по геологическим данным [Апродов, Апродова, 1963] (рис. 18).

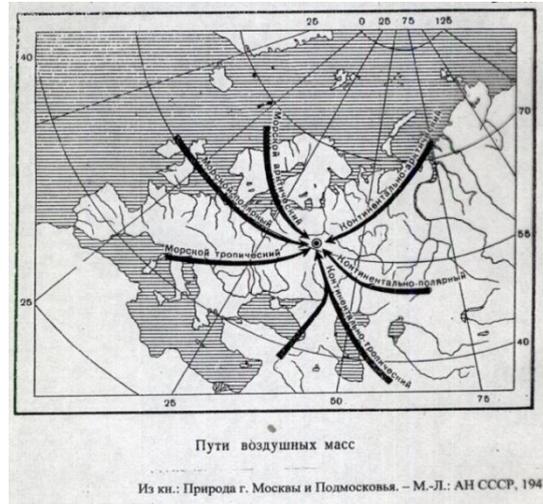


Рис. 17. Пути воздушных масс в районе Москвы [Природа..., 1947]

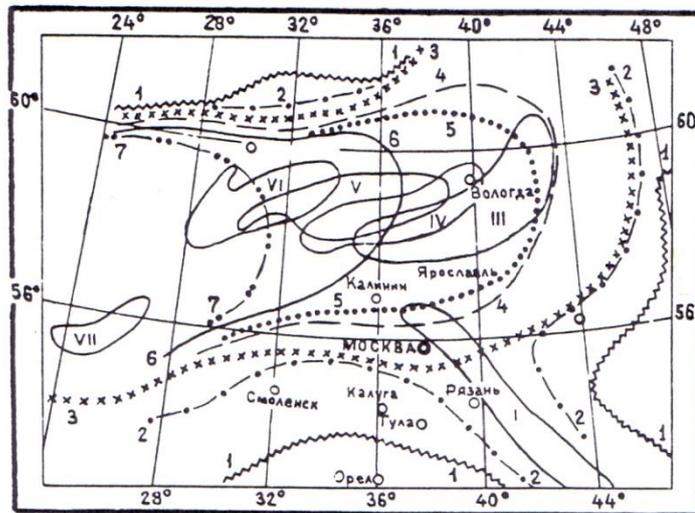


Рис. 18. Перемещение морских береговых линий в рифейском (синийском), кембрийском и ордовикском периодах, по: [Апродов, Апродова, 1963]: 1 – в рифее; 2 – раннем кембрии; 3 – среднем кембрии; 4 – раннем ордовике; 5 – среднем ордовике; 6 – позднем ордовике; 7 – в конце ордовика; I-VII – обозначение положения овалов максимального прогибания дна морей, береговые линии которых обозначены арабскими цифрами (перемещение овалов прогибания накладывалось на региональное поднятие платформы, овалы перемещались в направлении против часовой стрелки)

Подводя итоги этого небольшого обзора, нельзя не отметить, что проведенные исследования не могли бы быть проведенными, если бы авторы не следовали бы правилам современного дешифрирования, которые стали вырабатываться очень давно, но ярко «заработали» только с началом активного применения в геологических исследованиях материалов космических съемок, т.е. космических снимков.

Правила эти можно сформулировать таким образом. 1. Исследователь природы должен не только смотреть, но и видеть. 2. Исследователь природы должен видеть то, что хочет увидеть. 3. Исследователь природы должен уметь видеть то, что хочет увидеть.

Если же кто-то из читателей заподозрит авторов в субъективизме, то мы вынуждены будем признаться, что данные правила сложились после многолетних исследований скрытых тектонических нарушений и после знакомства с одной единственной строчкой великого русского поэта Максимилиана Александровича Волошина (1877–1932): «Умей читать условные черты».

В последние годы данные об особых структурных формах земной коры постоянно сообщаются студентам нашей кафедры в ходе лекции «Дистанционные методы в геологии» в рамках курса «Введение в динамическую геологию»; во время Первой учебной геологической практики на территории Москвы; используются при написании курсовых и дипломных работ – Ф. Котов, Н. Макаров; М. Юренков и А. Смоленский (Университет «Дубна»), Л. Варова, Е. Юон (кафедра геофизики), В. Царев, Е. Шереметьева, М. Яценко, А. Костромыкина, Е. Праслов, Н. Арешин, И. Бондарь, О. Мещерякова, А. Ермаков, И. Виноградов и другие, а также диссертаций – В.А. Иванов (ВИМС), А. Кхиари (Алжир), Тянь Сяочжо (Китай), А.В. Авдонин, О. В. Анисимова (Университет «Дубна»), В.В. Караковский (кафедра гидрогеологии), А.О. Агибалов, О.В. Гайдаленок.

В 2020 году ОСФ стали основой межфакультетского курса «Москва геологическая», слушателями которого были студенты факультета почвоведения, а также географического, филологического и механико-математического факультетов.

Авторы выражают благодарность профессорам кафедры динамической геологии Н.А. Божко и Е.П. Дубинину за предоставленные материалы по геологии Москвы.

Исследование выполнено в рамках НИР «Новейшая геодинамика и ее влияние на фильтрационные свойства геологической среды», каф. динамической геологии МГУ им. М.В. Ломоносова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агибалов А.О. Полетаев А.И. Опыт преподавания межфакультетского курса «Москва геологическая» в МГУ имени М.В. Ломоносова // Электронный научно-образовательный журнал «Динамическая геология». 2020. №2. С.146–156.

Апродов В.А., Апродова А.А. Движения земной коры и геологическое прошлое Подмоскovie. Учебные геологические экскурсии в окрестностях Москвы. М.: МГУ, 1963. 268с.

Архангельский А.Д. Геологический очерк окрестностей Москвы. М.: МОИП, 1947. 87 с.

Белая Н.И., Дубинин Е.П., Ушаков С.А. Геологическое строение Московского региона. Геологическая практика. М.: МГУ, 2001. 104 с.

Богословский В.А., Карус Е.В., Калинин А.В. и др. Комплексные эколого-геофизические исследования на территории и акваториях Московского региона // Вестник Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология. 1993. № 1. С.3–14.

Бондарь И.В. Структура земной коры Мытищинского района Подмоскovie по наземным и дистанционным данным // Актуальные проблемы региональной геологии и геодинамики. XVII Горшковские чтения. Мат-лы конференции, посвященной 106-й годовщине со дня рождения Г.П. Горшкова (1919-1984). М.: МГУ, 2015. С. 39–42.

Востоков Е.Н. Московский тектонический узел – структурная основа Московского мегаполиса // Геоэкологические исследования и охрана недр. М.: Геоинформмарк, 1997. Вып. 3. С. 2–23.

Галилео Галилей. Звездный вестник, 1610 // Галилео Галилей. Избранные труды в двух томах. М.: Наука, 1964. Т. 1.

Гончаров М.А. Не выраженные в рельефе природные линеаменты платформенного чехла как результат фильтрации высоконапорных флюидов вдоль пассивных разломов фундамента // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Материалы Всероссийского совещания «Современная геодинамика и сейсмичность Центральной Азии: фундаментальный и прикладной аспекты» (Иркутск, Институт земной коры СО РАН, 20 – 23 сентября 2005 г.). Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2005. Вып.3. С. 23–25.

Гордеев Д.И. История геологических наук. Т.1 (от древности до конца XIX в.). М.: МГУ, 1967. 316 с.

Гипсометрическая схема Москвы.

URL: <http://www.etomesto.ru/map/base/77/relyef2009.jpg/>.

Гидрографическая схема Москвы. URL: <http://radislav.metronet.ru/recki.htm>. Дата обращения: 8.06.2020.

Иванов О.П. Кольцевые структуры земли – новая экспозиция музея землеведения МГУ // Жизнь Земли. 1996. С. 241–244.

Караковский В.В. Гидрогеологическое обоснование схем территориального планирования на примере Красногорского района Московской области. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, М.; 2017. 30с.

Карасик И.Б., Певнев А.К. О современных движениях земной коры в Москве // Геодезия и картография. 1997. № 5. С. 25–31.

Карпинский А.П. О правильности в очертаниях, распределении и строении континентов // Горный журнал. 1888. № 2. С. 252 – 269.

Кац Я.Г., Козлов В.В., Пельмский Г.А., Шишкина Л.П. Природные памятники Москвы и окрестностей / Под ред. С.А. Ушакова. М.: Музей землеведения МГУ им. М.В. Ломоносова; ПКО «Картография», 1997.

Кац Я.Г., Козлов В.В., Полетаев А.И., Сулиди-Кондратьев Е.Д. Кольцевые структуры: миф или реальность? М.: Наука. 1989. 190 с.

Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева З.Ф. Основы линейной тектоники. М.: Недра, 1986. 144 с.

Копп М.Л. Кинематическая асимметрия как универсальная причина дугообразного изгиба структур горизонтального растяжения (на примере региональных и глобальных тектонических обстановок) // Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ. Материалы XLVIII Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2016. Т. 1. С. 256–263.

Копп М.Л. Дугообразные структуры растяжения в кинематическом анализе региональных и глобальных тектонических обстановок // Геотектоника. 2017. № 6. С. 18–36.

Копп М.Л. Дугообразные структуры растяжения в региональных и глобальных тектонических обстановках: опыт кинематического анализа. М.: ГЕОС, 2017а. 96с.

Костенко Н.П., Макарова Н.В., Корчуганова Н.И. Выражение в рельефе складчатых и разрывных деформаций. Структурно-геоморфологическое дешифрирование аэрофотоснимков, космических снимков и топографических карт. М.: МГУ, 1999. 120 с.

Костюченко С.Л., Солодилов Л.Н. К геологическому строению Московии: глубинная структура и тектоника // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. 1997. Т. 72. Вып. 3. С. 6–17.

Кудрявцев М.П. Москва — Третий Рим: историко-градостроительное исследование. М.: СолСистем, 1994. 256 с.

Кузьменко Ю.Т. Тектоника осадочного чехла и кристаллического основания Москвы // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. 1994. Т. 69. Вып. 4. С. 10–18.

Ли Сыгуан. Вихревые структуры Северо-Западного Китая. М.: Иностранная литература, 1958. 129с.

Макаров В.И., Бабак В.И., Дорошко А.Л., Бондаренко В.М., Демин Н.В. Влияние структурно-геологических особенностей на распределение концентрации подпочвенного радона и радона в подвалах жилых зданий (на примере района Чертаново г. Москвы) // Геоэкология. 2003. № 2. С.139–152.

Москва. Геология и город. М.: Московские учебники и картолитография, 1997. 395 с.

Мушкетов И.В., Мушкетов Д.И. Физическая геология. М.: Л.-М.: ОНТИ-НКТП СССР, 1935. 908 с.

Новаковский Б.А., Симонов Ю.Г., Тульская Н.И. Эколого-геоморфологическое картографирование Московской области. М.: Научный мир, 2005. 72 с.

Осипов В.И., Кутепов В.М., Макаров В.И. Геологические условия градостроительного развития Москвы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 2006. № 2. С. 99–114.

Панина Л.В., Зайцев В.А., Полетаев А.И., Сироткина О.Н., Симонов Д.А. Чашниковская впадина и ее обрамление (геология, геоморфология, структурные особенности и современные геологические процессы): Методическое руководство по проведению «Геолого-геоморфологической практики» студентов 1 курса факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова / Под ред. Л.В. Паниной М.: МАКС Пресс, 2017. 162 с.

Петренко С.И., Лихачева Э.А. Некоторые результаты изучения палеодолин на территории г. Москвы // Вестник Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология. 1979. № 4. С. 96–99.

Полетаев А.И. Узловые структуры земной коры. М.: МГП «Геоинформмарк», 1992. 52 с.

Полетаев А.И. Сдвигово-ротационная модель структурной эволюции Русской платформы. М.: Геоинформмарк, 2000. 44 с.

Полетаев А.И. Транзитивные (переходные) структуры земной коры // Международная конференция, посвященная памяти В.Е. Хаина. М.: МГУ, 2011. С. 1473–1476.

Полетаев А.И. О понимании роли и значения ротационного фактора в образовании и развитии Земли: факты, дискуссии, выводы. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011а. 200с.

Полетаев А.И. «Особые» структурные формы геологического пространства // Геологическая среда, минерагенические и сеймотектонические процессы. Материалы XVIII

Международной конференции 24-29 сентября 2012 года. Воронеж: Научная книга, 2012. С. 274–279.

Полетаев А.И. Особые структурные формы земной коры и преподавание структурной геологии в России во второй половине XX – начале XXI вв. // *Пространство и Время*. 2015. Т. 8. Вып. 1. URL: 2227-9490e-aprov1_1.2015.54.

Полетаев А.И. Клиновидные и дуговые структуры Земли: морфология и генезис; сходство и различия // *Актуальные проблемы региональной геологии и геодинамики/ XV111 Горшковские чтения. Материалы конференции, посвященной 107-й годовщине со дня рождения Г.П. Горшкова (1909 – 1984)*. МГУ, 28 апреля 2016г. М.: МГУ, 2016а. С. 12–23.

Полетаев А.И. Клиновидные структуры земной коры // *Бюллетень МОИП. Отдел геологический*. 2016б. Т. 91. № 4-5. С. 40–50.

Полетаев А.И. Особые структурные формы (ОСФ) (линейные, клиновидные, узловые, кольцевые и ротационные) и их влияние на фильтрационные свойства геологической среды. Статья первая. Линейные (линеаменты) и клиновидные структурные формы и их влияние на фильтрационные свойства геологической среды Восточно-Европейской платформы // *Динамическая геология*. 2019. № 1. С. 48–78.

Полетаев А.И., Агибалов А.О. Дневник-путеводитель по Первой учебной геологической практике на территории Москвы. М.: СТ Принт, 2018. 68 с.

Полетаев А.И., Авдонин А.В., Котов Ф.С. Девиантные структуры – как индикаторы ротационных движений земной коры // *Актуальные проблемы региональной геологии и геодинамики. Материалы конференции, посвященной 90-летию Г.П. Горшкова (1909 – 1984)*. М., 1999. С.19–21.

Семихатов Б.Н. Геологические экскурсии в окрестностях Москвы. М.: УЧПЕДГИЗ, 1955. 89 с.

Стенон Н. О твердом, естественно содержащемся в твердом. М.: АН СССР, 1957. 91 с.

Шереметьева Е.В. Изучение скрытых тектонических нарушений и глубинных неотектонических процессов Московской синеклизы при помощи линеamentного анализа // *Разведка и охрана недр*. 2014. № 7. С. 3–6.

Hobbs W.N. Lineaments of the Atlantic border region // *Bull. Geol. Soc. Amer.* 1904. Vol. 15. P. 483–506.

УДК 551.1/4

О ДВУХ ТИПАХ ГРАНУЛИТОВОГО МЕТАМОРФИЗМА В СУПЕРКОНТИНЕНТАЛЬНОМ ЦИКЛЕ

Н.А. Божко

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

В обширной проблематике гранулитовых поясов, метаморфизм занимает особое место. Определение тектонических процессов, происходивших в них, в значительной степени базируется на интерпретации Р-Т трендов. Последние результаты численного моделирования и изучения Р-Т трендов, основанные на передовых технологиях, позволяют выделить в некоторых гранулитовых поясах Земли два типа гранулитов: высокобарических и средне-низкобарических [Bohlen, 1987; Harley, 1989, Zhang et al., 2006; и др.].

Высокобарические гранулиты фиксируют условия одноактного метаморфизма при температурах от 700° до 900°С и давлениях от 8 до 10 кбар. и выше, с характерными Р-Т трендами, в виде кривых направленных по часовой стрелке к оси температур, отражающие следующие за пиком метаморфизма изотермальную декомпрессию и охлаждение. Они давно установлены практически во всех гранулитовых поясах: Гренвильском, Беломорско-Лапландском, Джугджуро-Становом, Транссеверо-Китайском, Восточно-Гатском, Жеки-Итабуна-Курака, Лимпопо, Мозамбикском, земли Королевы Мод и других. Высокобарические гранулиты характеризуются ассоциацией гранат-клинопироксен-плаггиоклаз-кварц (в основных породах) и кианит-калиевый полевой шпат (метапелиты и кислые породы). Типично повсеместное отсутствие ортопироксена или как вторичного минерала.

По мнению большинства исследователей, высокобарический гранулитовый метаморфизм с Р-Т трендами направленными по часовой стрелке характеризует области, развивавшиеся в компрессионном синкинематическом режиме, возникшие в результате тектонического переутолщения земной коры при коллизии и скупивании. Эксгумация таких погруженных гранулитов происходит в результате быстрого подъема, эрозии или тектонической денудации [Ellis, 1987; England, Thompson, 1984; Harley, 1989; и др.]. Переутолщение коры осуществляется за счет кратковременных тектонических событий, связанных с коллизией континент-континент, что соответствует распространенной модели Гималайского типа. Поперечное сжатие пространства, первоначально занимавшегося Гималаями, оценивается в сотни километров, что привело к нагромождению покровов и увеличению мощности коры до 70 км. Переутолщение коры во время коллизии вызывает

изостатическое выравнивание и вывод на поверхность гранулитов, сформированных в данном и более древних циклов [Harley, 1987].

Коллизионная природа рассматриваемых гранулитов соответствует их, отмеченной выше, внутренней структуре в виде ансамбля тектонических покровов.

Вместе с тем, данная модель межконтинентальной коллизии предполагает предшествующую субдукцию океанической литосферы, а, следовательно, и предшествующее раскрытие океанического бассейна. Признание Гималайской модели для ГП предполагает существование цикла Вильсона в их эволюции, и, в частности, присутствие в их составе океанических комплексов [Божко, 2017]. Несмотря на трудности восстановления протолитов гранулитовой фации пород, реликты таких комплексов выявлены в ряде поясов. К ним относятся офиолиты в Транссеверокитайском, Беломорско-Лапландском, Гренвильском поясах; доказанные шельфовые, островодужные комплексы в ряде поясов. Присутствие эклогитов как показателей древних субдукций в поясах Усагара, Беломорском и других в ассоциации с гранулитами также следует отнести к свидетельствам существования в прошлом на их месте океанов, что является предпосылкой для коллизий типа континент-континент.

Таким образом, имеющиеся геологические и петрологические данные не противоречат коллизионной модели Гималайского типа для гранулитов, распространенных в составе гранулитовых поясов (ГП). В отличие от низко и среднебарических гранулитов, образующихся на средних и нижних уровнях нормальной континентальной коры, высокобарические формируются в результате кратковременных тектонических событий, приводящих к переутолщению коры.

Низко-среднебарические, высокотемпературные гранулиты. К концу 70-х годов утвердилось мнение о том, что метаморфические породы в орогенических поясах характеризуются исключительно P-T трендам по часовой стрелке. Вместе с тем, в ряде наиболее изученных ГП наряду с доминирующими среди описанных высокобарическими гранулитами отмечено присутствие умеренно – низко барических, высокотемпературных гранулитов, на средних и нижних уровнях нормальной континентальной коры. Такие гранулиты задокументированы в настоящее время в поясе Лимпопо, Транс-Северо Китайском, Мозамбикском, Беломорском, Шарыжалгайском, Южно-Индийском, Гренвильском, Восточно-Гатском, Антарктическом.

Низко-среднебарические гранулиты характеризуются трендами против часовой стрелки, с условиями пика метаморфизма около T 900°C и P 6-8 кбар и ниже с последующим изобарическим охлаждением. Типичный состав: гранат-ортопироксен-полевой шпат-пижонит.

Если тренды по часовой стрелке изображают коллизию, приводящую к переутолщению коры, то траектории против часовой стрелке, требуют другого объяснения. Образование таких пород требует экстремальных тепловых условий. Как показали исследования Сендифорда и др., образование таких областей нельзя объяснить кондуктивным теплопереносом от места коллизионного утолщения коры в виду того, что такой нагрев продолжался бы очень длительное время после коллизии, а температура на границе Мохо значительно превышала бы коровый ликвидус. Модель горячего орогена также не соответствует реальным геологическим данным. В ряде работ Херли показал в любом случае термальный дефицит в 100-200°C. Иными словами, требуется привнос дополнительного тепла.

Для формирования низкобарических гранулитов многими исследователями в том или ином виде привлекается механизм мантийного андерплейтинга или внедрение больших объемов интрузивных пород.

Формирование низкобарических гранулитов за счет андерплейтинга расплавами нормальной коры мощностью 30-40 км в условиях растяжения указывалось ранее [Harley, 1987]. В настоящее время этот механизм в том или ином виде признается многими исследователями. [Bohlen, 1987; Kramers et al., 2011; Mezger, 1992; и др.]. Модель требует поднятия мантийного плюма, который транспортирует горячий мантийный материал к основанию коры, вызывая рифтинг. Мантийные расплавы более плотные чем континентальная кора и поэтому лишь небольшая часть расплавов внедряются в кору. Основная часть материала остается около границы кора-мантия, образуя магматический андерплейт (подслаивание). Основные-ультраосновные магмы, образующиеся и складывающиеся таким образом, могут давать тепло необходимые для гранулитового метаморфизма [Bohlen, 1987; Mezger, 1992]. В этой модели гранулитовый метаморфизм ассоциируется с растяжением и утонением коры.

Важной особенностью высокотемпературных гранулитов является их ассоциация с интрузиями основных пород, эндербитов и чарнокитов, являющимися другим источником привноса дополнительного тепла при их метаморфизме [Bohlen, 1987; Harley, 1987, 1989; England, Thompson, 1984; Heaman, 2002]. Специальными исследованиями, проведенными М. Гюстина с соавторами [Giustina et al., 2011] в высокотемпературном гранулитовом неопротеозойском комплексе Центральной Бразилии установлена синхронность его проявления с расслоенными интрузиями, которые рассматриваются как источник необходимого дополнительного тепла. Синхронность проявления гранулитового метаморфизма и основного магматизма была проанализирована на примере становления крупных изверженных провинций LIP) с возрастом 2.5-2.4 млрд лет [Heaman, 2002].

Установлено, что гранулитовый метаморфизм следует за главной стадией магматизма через 10-40 млн. лет.

Итак, тренды по часовой стрелке изображают коллизию, приводящую к переутолщению коры. Тогда как траектории против часовой стрелке указывают на тепловую адвекцию путем андерплейтинга или интрузий в кору мантийных магм [Kramers et al., 2011].

Низкобарические гранулиты с трендами против часовой стрелки накладываются на доминирующие высокобарические гранулиты с декомпрессионным трендами по часовой стрелке [Mezger, 1992; и др.].

Таким образом, внутри одного и того же пояса могут присутствовать гранулиты с контрастными P-T трендами, «орогенные» и «анорогенные», что свидетельствует о сложных процессах, имевших место в тектонической эволюции конкретных поясов

Временной интервал находящийся между этими дискретными событиями четко не определен. Имеющиеся оценки по нескольким поясам на разных континентах немногочисленны. Так, в Шарыжалгайском комплексе коллизионный гранулитовый метаморфизм гнейсов (~ 1965 млн лет) отделен от метаморфизма в условиях растяжения, ассоциирующей с чарнокитизацией (~ 1873 млн лет) интервалом около 100 млн лет [Божко, 2017]. По мнению Дж. Торета и соавторов, события в истории Земли связанные с латеральной аккрецией континентов при которой господствуют процессы высокобарного гранулитового метаморфизма сменяются вертикальной аккрецией с сопутствующей ей высокотемпературным метаморфизмом через интервал в несколько десятков миллионов лет [Touret et al., 2015], а в последней работе дает оценку-около 100 млн лет. В гранулитовых поясах эпизодам высокотемпературного метаморфизма предшествует с интервалом около 100 млн лет высокобарический метаморфизм, вызванный континентальной коллизией.

Рассмотрение проявления двух типов метаморфизма на фоне событий суперконтинентального цикла. Несколько слов о суперконтинентальном цикле на примере разработанного автором цикла продолжительностью 400 млн лет. Его структура состоит из двух стадий: собственно-континентальной (один континент-один океан) и межсуперконтинентальной (несколько континентов-несколько океанов). В свою очередь стадии распадаются на фазы. Фаза интеграции характеризуется центростремительными тенденциями, продолжая в каком-то смысле процесс сборки, уплотнения, агломерации. После суперконтинентальной кульминации наступает фаза деструкции, предваряющая и подготавливающая распад суперконтинента. Основное ее содержание-континентальный рифтогенез, формирование основных анорогенных интрузий, Содержание первой фазы — второй стадии-фазы фрагментации — заключается в распаде суперконтинента, формировании

зон спрединга и молодых океанов. Следующая фаза — конвергенции — заключается в сборке суперконтинента, формировании зон субдукции и закрытии молодых океанов в результате многочисленных коллизий (рисунок).

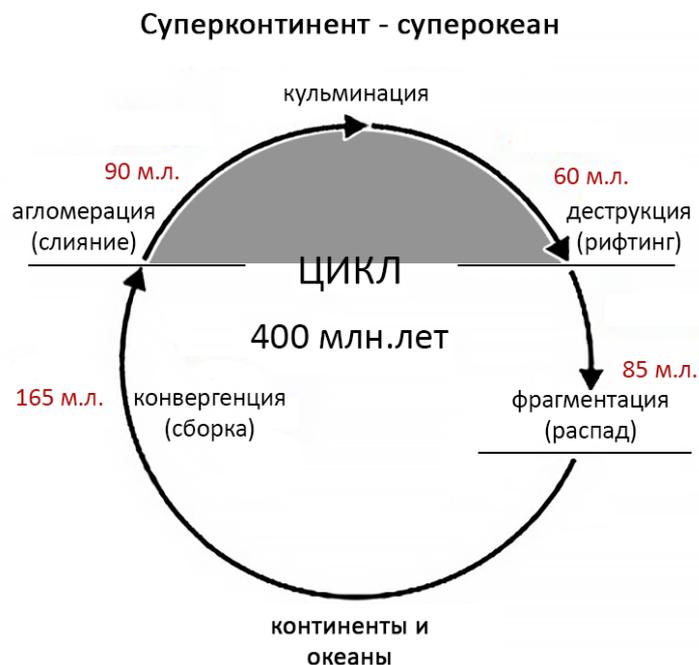


Рисунок. Суперконтинентальный цикл

Рассмотрим нашу проблему на фоне структуры СЦ. Исходя из коллизионной модели высокобарного гранулитового метаморфизма, очевидно, что их формирование будет происходить в конвергентную фазу СЦ, когда в результате неодноактных коллизий континент-континент осуществляется сборка нового суперконтинента и прекращается с его создания.

Условия для высокотемпературного гранулитового метаморфизма в обстановке растяжения возникают в фазу деструкции этого суперконтинента, когда в результате эффекта теплового экрана активно проявляется плюмовые процессы, господствует континентальный рифтогенез, идет формирование дайковых комплексов, становление основных анорогенных интрузий. В этой обстановке господства плюмовой тектоники гранулитовые пояса выступают как линейные ослабленные зоны, благоприятные для локализации интрузия и высокотемпературного метаморфизма.

Пауза в проявлении метаморфизма, таким образом, приходится, в основном, на фазу интеграции продолжительность которой около 90 млн лет не противоречит вышеуказанным оценкам интервала между двумя типами метаморфизма.

Таким образом, эволюция метаморфизма в ходе развития гранулитовых поясов вполне укладывается в структуру суперконтинентального цикла [Божко, 2009], коррелируясь с событиями его стадий. Формирование высокобарических гранулитовых комплексов происходит в фазу конвергенции межсуперконтинентальной стадии, когда имеют место коллизии при сборке нового суперконтинента. В последующий период времени, включающий стадию существования слитного суперконтинента и фазу его фрагментации новообразованный суперконтинент выступает в роли теплового изоляционного экрана, что создает благоприятные условия для подъема мантийных плюмов, проявления анорогенного магматизма и высокотемпературного низкобарического гранулитового метаморфизма.

ВЫВОДЫ

В эволюции ГП выделяются последовательное проявление двух типов гранулитового метаморфизма – высокобарического и средне-низкобарического.

Эти два вида метаморфизма реально вписываются в суперконтинентальный цикл. Коллизионный высокобарический гранулитовый метаморфизм приурочен к стадии сборки суперконтинента, а высокотемпературный средне-низкобарический связан с процессами его распада. Метаморфические комплексы гранулитовых поясов являются, таким образом, индикаторами геодинамических обстановок.

Выявленная связь эволюции метаморфизма гранулитовых поясов с суперконтинентальной цикличностью, отражая сочетание процессов коллизии и андерплейтинга, указывает на сложное взаимодействие при этом двух геодинамических стилей — тектоники литосферных плит и мантийных плюмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Божко Н.А. Суперконтинентальная цикличность в истории Земли // Вестн. Моск. Ун-та. 2009. Сер. 4. Геология. № 2. С. 13-27.

Божко Н.А. Реликты докембрийских океанических бассейнов в составе гранулитовых поясов Земли и геодинамические следствия // Тектоника современных и древних океанов и их окраин. М.: ГЕОС, 2017. Т. 1. С. 53–57.

Aftalion M., Bibikova E.V., Bowes, D.R., Hopgood A.M., Perchuk L.L. Timing of Early Proterozoic collisional and extensional events in the granulite-gneiss-charnockite-granite complex, lake Baikal, USSR: a U-Pb, Rb-Sr, and Sm- Nd isotopic study // Journal of Geology, 1991. V. 99. P. 851-862.

Bohlen S.R. Pressure temperature time paths and a tectonic model for the evolution of granulites // Journal of Geology. 1987. V. 95. P. 617-632.

Brown M. P–T–t evolution of orogenic belts and the causes of regional metamorphism // Journal of the Geological Society. London. 1993. V. 150. P. 227–241.

Ellis D.J. Origin and evolution of granulites in normal and thickened crusts // Geology. 1987. V. 15. P.167-170.

England P.C. Thompson A.B. Pressure—temperature—time paths of regional metamorphism I. Heat transfer during the evolution of regions of thickened continental crust // Journal of Petrology. 1984. V. 25. P. 894-92.

Giustina M.E.S.D., Pimentel M. M., Filho C. F.F., Hollanda M.H.M. Dating coeval mafic magmatism and ultrahigh-temperature metamorphism in the Anápolis-Itaçu Complex, Central Brazil // Lithos. 2011. V. 124. No. 1–2. P. 82–102.

Harley S.L. The origins of granulites: a metamorphic perspective// Geological Magazine. 1989. V. 126. P. 215–247.

Heaman L.M. Collisional tectonics of the Continental Interior of Canada: The John Lewry Symposium. Abstract. Saskatoon (Saskatchewan), 2002.

Kramers J.D., McCourt S., Roering C., Smit C.A., van Reenen D.D. Tectonic models proposed for the Limpopo Complex: Mutual compatibilities and constraints // Geological Society of America. 2011. V. 207. P. 311–324.

Mezger K. Continental Lower Crust / Eds D. M. Fountain, R. Arculus and R. W. Kay, Amsterdam, Elsevier, 1992. 44 p.

Touret J.L.R., Santosh M., Huizenga J.M. High-temperature granulites and supercontinents// Geoscience Frontiers. 2016. V. 7. No 1. P. 101-113.

Zhang J., Zhao G.C., Sun M., Wilde S.A., Li S.Z., Liu S.W. Implications based on the first SHRIMP U-Pb dating on Precambrian granitoid rocks in North Korea//. Gondwana Res. 2006. V.9. P. 349–36

УДК 551.248

НОВЫЕ СТРУКТУРЫ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ — ГРАВИТАЦИОННО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ МАССИВЫ

Н.В. Макарова, Т.В. Суханова

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

В последнее время все большее внимание уделяется новейшим структурам, развивающимся на границах крупных поднятий и прогибов в условиях горизонтального растяжения. Наибольшее количество таких структур развито на границах континентов с морскими и океаническими впадинами. Некоторые из них были исследованы В.И. Макаровым с соавторами [Макаров, Спиридонов, 1982; Макаров, Кожурин, 1984; Макаров, 1990], показавшими влияние активно развивающихся и расширяющихся впадин Эгейского, Черного и Южно-Китайского морей на структуру граничащих с ними новейших поднятий Родопского массива (Балканы) и Индокитая, первоначально образовавшихся в условиях сжатия. В результате условий растяжения происходит преобразование существующих новейших структур. Признаками растяжения являются формирующиеся новые структуры - грабены и горсты, развивающиеся одновременно со сдвигами в условиях транспрессии, их зональность, параллельная границе с впадиной, трещины растяжения в коренных и четвертичных породах, громадные массивы оползней и обвалов на склонах поднятий, граничащих с впадинами, наклоны земной поверхности в сторону расширяющихся впадин, фиксируемые геодезическими методами. Возраст развивающихся новых структур с признаками растяжения - плиоцен-четвертичный и четвертичный, и они наложены на более древние структуры, возникшие в начале новейшего этапа, преимущественно в условиях сжатия. Вследствие этого часто образуется перекрестный структурный план, в котором молодые и более древние новейшие структуры имеют различные простирание и тип деформаций. Такие структуры, кроме указанных выше поднятий Родопских гор и Индокитая, характерны для восточного склона Сихоте-Алиня, граничащего с впадиной Японского моря [Корчуганова, 2000], южного склона поднятия Крыма на границе с Черноморской впадиной и многие др. Масштаб структур иногда имеет громадные размеры: они протягиваются на сотни и тысячи километров, а вглубь континента их ширина достигает десятков километров.

Аналогичные структуры, но меньшего масштаба характерны и для платформ, в частности Восточно-Европейской. Они также приурочены к границам положительных и отрицательных структур, т.е. новейших поднятий и опусканий. Для Восточно-Европейской платформы это фактически новая интерпретация существующих известных структур, т.к. характерные для них признаки в виде оползневых и обвальных форм, протяженные

прямолинейные и циркообразные стенки их отрыва картировались постоянно, однако объяснялись исключительно геологическими (наличие водоупорных глин) и экзогенными причинами (подмывом склонов реками и др.).

На Восточно-Европейской платформе наиболее крупные структуры, развивающиеся в условиях горизонтального растяжения, выделены на границах новейших Приволжского поднятия и Прикаспийского прогиба (синеклизы), Токмовского поднятия и Волжско-Ветлужского прогиба (южной части Московской синеклизы), Воронежского поднятия и Окско-Донского прогиба. М.Л. Копп, впервые представивший эти структуры во многих статьях [2004, 2011, 2017, 2020 и др.] относил к ним денудационные уступы, развивающиеся на границах антеклиз и синеклиз в условиях тектонического горизонтального растяжения при участии сбросовой и сдвиговой компонент (рис. 1).

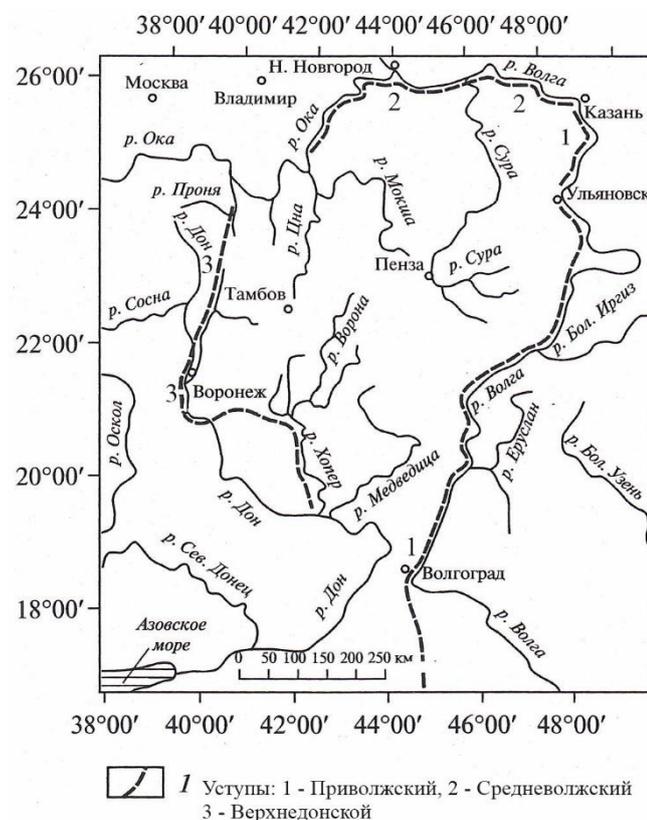


Рис. 1. Денудационные уступы в восточной части Восточно-Европейской платформы, по [Копп, 2011]

Такие условия были определены по данным детального структурно-кинематического анализа трещиноватости разновозрастных пород, тектоническим и морфоструктурным особенностям их строения. Он представил целый ряд индикаторов этих структур. Помимо указанных выше геодинамических условий растяжения, местоположения и новейшего возраста, характерными для них являются дугообразные в плане выемки или целые амфитеатры с признаками выдвигания материала изнутри дуг, оползневые массивы и

латеральные тектонические гравитационные потоки с перемещением материала от антеклиз к синеклизам, приуроченные к линейным прогибам, огромная протяженность – до 1000 км при малых вертикальных амплитудах (не более первых сотен метров) рельефа [Копп, 2020].

В целом такие структуры, по данным М.Л. Коппа, являются показателями коллапса (разрушения) антеклиз. Их образование он связывает с коллизионным давлением, передающимся с юга от границ Евразийской и Аравийской плит через консолидированную кору в фундамент Восточно-Европейской платформы. Над глубинными полосами концентрации коллизионных напряжений сжатия, благодаря речной эрозии, способствующей разрядке напряжений, на поверхности в условиях растяжения образуются зоны сгущения малоамплитудных трещин разгрузки, ослабляющих устойчивость пород и вызывающие разрушение протяженных денудационных уступов.

Коллизионное давление с юга в восточной части платформы М.Л. Копп распространяет далеко на север, до широтного отрезка долины р. Волги между Н. Новгородом и Казанью, а на востоке – фактически на весь восточный склон Приволжской возвышенности или западный склон Прикаспийского прогиба.

Представленные выше денудационные уступы ранее рассматривались В.И. Макаровым [Макаров, 1996; Глубинное..., 2003 и др.], а затем нами [Новейшая..., 2006; Макаров и др., 2007; Макарова и др., 2010, 2012, 2016, 2017 и др.], как части *динамически активных зон*, разделяющих новейшие структуры, развивающиеся под действием различных тектонических напряжений (в том числе и растяжения) на границах неоднородных геолого-геофизических сред, и потому имеющие различное строение и морфологию. К геодинамически активным зонам, помимо уступов, нами отнесены и ограниченные ими массивы или поднятия, валы, прогибы. Таким образом уступы - лишь *внешние* границы этих структур, а *внутренними* их границами служат долины рек, многие из которых приурочены к прогибам. Такие долины часто протягиваются параллельно денудационным уступам на различном от них расстоянии, в зависимости от активности напряжений растяжения. Долины протяженные или сравнительно короткие, прямолинейные или дугообразные проявляют будущие *трещины отседания* или отрыва целых массивов. Ширина массивов или гравитационно-тектонических структур составляет от 10 до 40-50 км. Ниже приводится описание таких структур, развивающихся на границах крупных поднятий – Приволжского, Токмовского и Воронежского и соответствующих прогибов – Прикаспийского, Волжско-Ветлужского и Окско-Донского.

1. Приволжский гравитационно-тектонический массив включает Волжско-Иловленское (I), Волжско-Терешкинское (II) и Волжско-Свияжское (III) поднятия (рис. 2).

Денудационный уступ (Приволжский, см. рис. 1), ограничивающий два первых из них от Прикаспийского прогиба, а третьего от Казанского прогиба, протягивается более, чем на 700 км. На всем его протяжении фиксируются признаки растяжения в виде ступенчатых сбросов, грабенов, трещин отседания, многочисленных оползней.

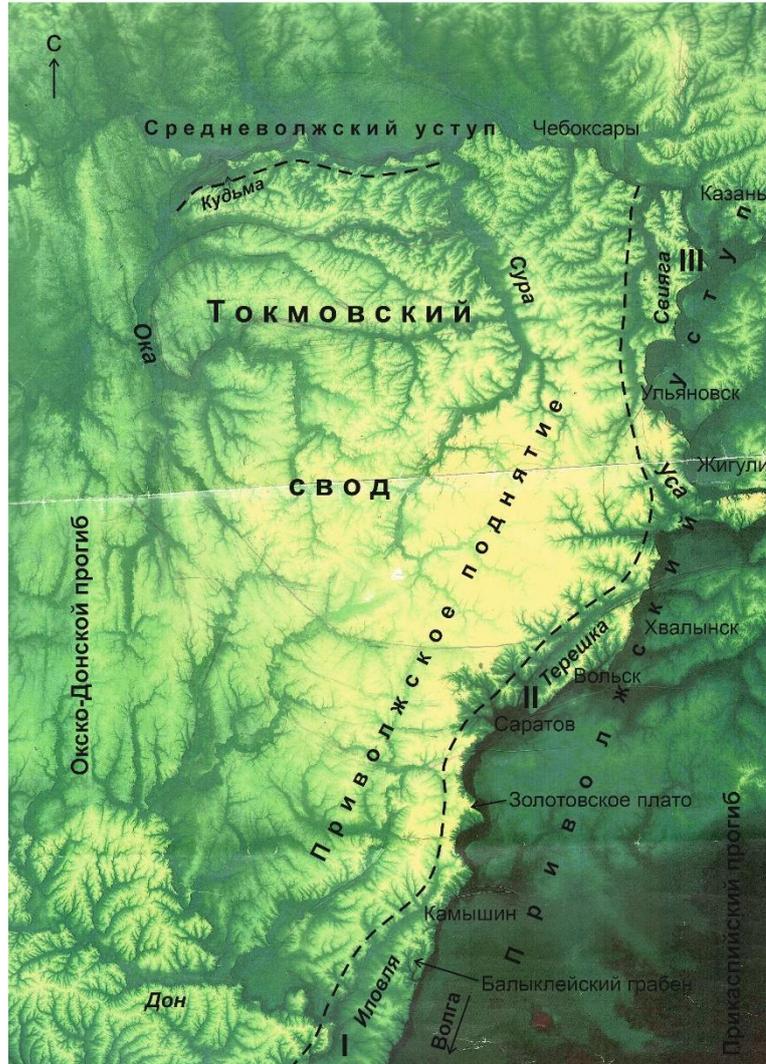


Рис. 2. Цифровая карта рельефа правобережья р. Волги. Пунктир – условная граница тектоно-гравитационных массивов, отчлененных от склонов поднятий долинами рек (Иловля, Терешки, Усы, Свияга, Кудьма и др.) – будущих трещин отседания. Массивы: I – Волжско-Иловленский, II – Волжско-Терешкинский, III – Волжско-Свияжский

На Волжско-Иловленском поднятии Балыклейский (Александровский) грабен шириной всего 1,5-3 км, описанный еще в молодой тридцатые годы прошлого столетия А.Д. Архангельским, Е.Е. Милановским и Н.С. Шатским, а позже последующими исследователями, развивается южнее Камышина. Дислокациями затронуты отложения мела, олигоцен-миоцена, плиоцена и эоплейстоцена (скифские глины). Амплитуды смещений изменяются от 140–280 м

по слоям мела и 70–80 м по плиоцену. Все это свидетельствует о новейшей, в том числе, четвертичной активности этих дислокаций [Новейшая..., 2006]. Само поднятие Волжско-Иловленского водораздела представляет собой асимметричный горст с пологим восточным крылом (антитетический сбросовый массив по М.Л. Коппу [2004]). Севернее г. Саратова крупные массивы-поднятия, представляющие Волжско-Терешкинский водораздел, испытывающие тектоно-гравитационное отседание (растяжение со сбросами) (рис. 3), выделяются в районе г. Вольска и Хвалынских гор.



Рис. 3. Разрушение дома в результате оползня (Саратов)

Оба поднятия, абсолютная высота которых превышает 300–350 м, являются асимметричными неотектоническими горст-антиклиналями, в пределах которых кровля альба и палеоценовые отложения залегают соответственно на 100 и 200 м выше, чем в сопряженных Терешкинском и Заволжском прогибах. Многочисленные продольные нарушения сбросового типа, образующие ступени, разделенные крутосклонными понижениями (грабенами), осложняют восточные более крутые склоны, обращенные к Волге, а у Вольского поднятия еще и западные склоны. Вследствие этого оно как бы разваливается и в западном и восточном направлениях (рис. 4). Крупные оползневые массивы, глубоко захватывающие склоны поднятий, формируются здесь с плиоцена, сначала к глубокому доакчагыльскому руслу Волги, а в настоящее время - к современному. Кроме меридиональных, для поднятий характерны многочисленные широтные линейные трещины, разрабатываемые глубокими оврагами. В горстовом массиве г. Маячной южнее Хвалынского поднятия акчагыльские отложения залегают выше почти на 100 м, по сравнению с соседними участками [Востряков, 1967].

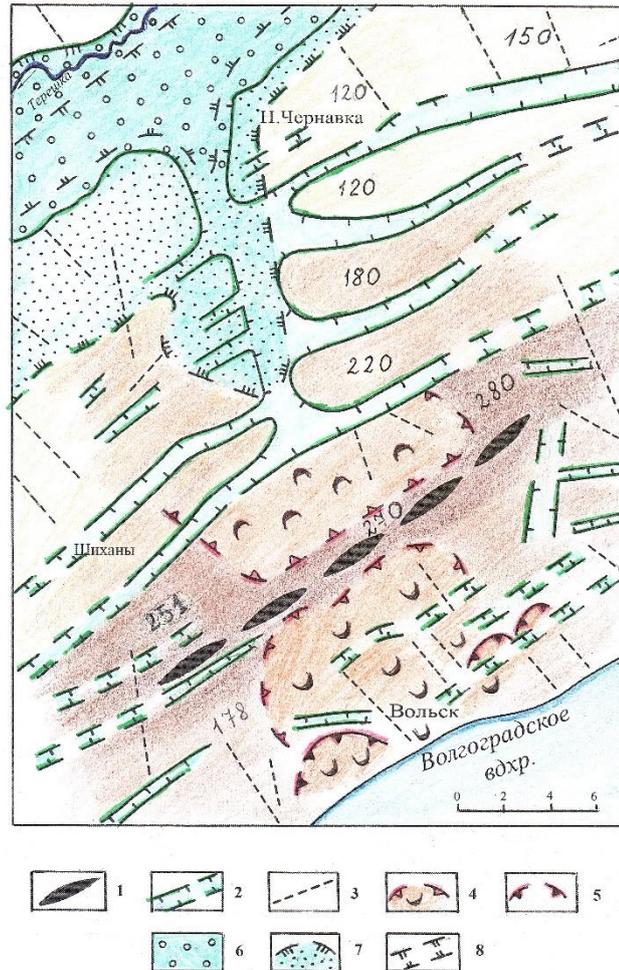


Рис. 4. Структурно-геоморфологическая схема Вольского поднятия: 1 – сводовая часть поднятия и его ось; 2 – эрозионно-тектонические понижения; 3 – отдельные линеаменты; 4 – эрозионные цирки; 5 – оползневые цирки и оползни; 6 – четвертичная аккумуляция в долине р. Терешки и границы погребенного эоплейстоценового русла; 7 – верхнеплиоценовые (акчагыльские) морские отложения и границы их распространения; 8 – границы эоплейстоценовой долины

Обстановка растяжения в районе Вольского и Хвалынского поднятий подтверждается анализом трещиноватости меловых и палеоценовых пород, определяющего сбросовое поле напряжений при всестороннем латеральном растяжении и вертикальном сжатии [Макарова, Суханова, 2010]. По данным М.Л. Коппа [2004], сбросовое поле напряжений характеризуется субширотной ориентировкой оси максимального удлинения. К Хвалынскому поднятию приурочена эпицентральная зона землетрясений, в том числе 4-бального, произошедшего в 2005 г, выраженная повышенной плотностью очаговых зон на единицу площади [Огаджанов, 2006].

Новейший прогиб долины Терешки, ограничивающий с запада Вольское и Хвалынское поднятия и выполненный плиоценовыми (акчагыльскими) морскими и четвертичными отложениями, по морфологии и результатам тектонофизического анализа трещиноватости отложений является структурой растяжения и, как мы представляем, будущей крупной трещиной отседания правобережья Волги в Прикаспийский прогиб.

Севернее за Жигулевским валом Волжско-Свияжское поднятие также имеет признаки субширотного растяжения, аналогичные описанным для центральной части Приволжского уступа (оползни, трещины отседания). Поднятие, являющееся в новейшей структуре продолжением Вятского вала [Глубинное..., 2003], «съедается» наступающими с востока Волгой и с запада Свиягой.

Помимо постоянно происходящих оползней и обвалов, образования крупных трещин отседания (рис. 5) условия растяжения имеют иногда еле заметные на местности, намеченные только геоморфологическими признаками формы: серии широтных параллельных денудационным уступам цепочек болотистых понижений на разных по возрасту поверхностях, наклонных к Волге, а также глубокие эрозионные рытвины, интенсивная трещиноватость пород и развитые по ней овраги.



Рис. 5. Трещины отседания на Приволжском уступе

Все эти формы можно видеть на Волжско-Иловленском поднятии в Золотовской излучине (плато) на правобережье Волги южнее г. Саратова на поверхности высокой (120-135 м) плиоценовой (акчагыльской) и более низких четвертичных террас (рис. 6).

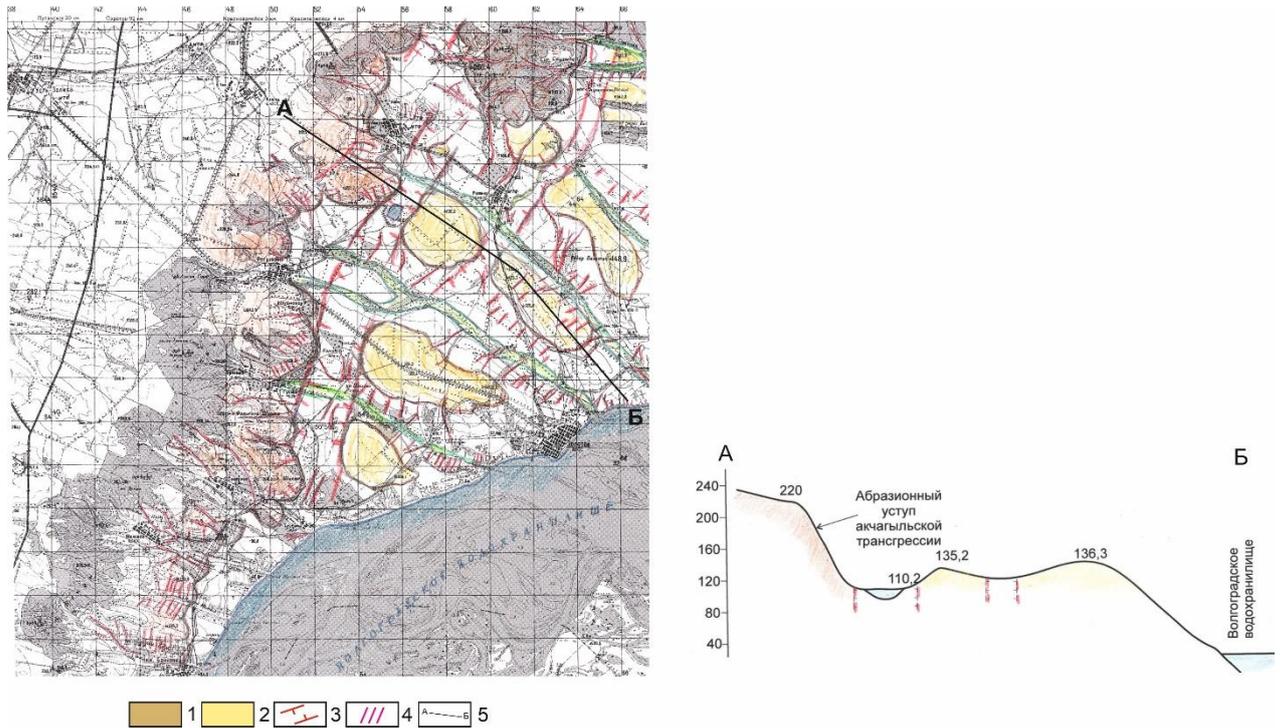


Рис. 6. Признаки современного напряжения растяжения на Золотовской излучине (правобережье Волги, между городами Камышин и Саратов): 1-поверхность поднятия и ограничивающий его абразионный уступ плиоценового (акчагыльского) моря; 2-отдельные фрагменты террас, расчлененные эрозионной сетью; 3- широтные понижения – признаки растяжения; 4- трещины, рытвины; 5- А-Б - линия топографического профиля

2. Следующий гравитационно-тектонический массив, находящийся в условиях активного современного горизонтального растяжения, также связан с долиной Волги. Он протягивается по правобережью в широтном направлении от Н. Новгорода на западе почти до Казани на востоке и представляет собой северную краевую часть Токмовского поднятия [Макарова и др., 2012] и Московской синеклизы. Денудационный или эрозионно-тектонический уступ – Средневолжский (см. рис. 1 и 2) – является его северной границей, а южной – долины древней отмершей Пра-Кудьмы, местами полностью срезанной Волгой, а также отдельные участки нижних течений небольших рек Озерка, Сундовик, Изма, Урга – правых притоков Волги, имеющих широкие плоскodonные долины с развитыми поймой и низкими террасами. Эти долины образуют широтное понижение, являющееся крупной трещиной отседания, по которой массив, заключенный между ней и Волгой, потенциально представляет собой будущий громадный оползневой блок. Его ширина 2,5-10 км, и местами он уже полностью срезано [Макарова и др., 2011].

Низменное левобережье Волги представляет собой новейший Волжско-Ветлужский (Марийский) прогиб, наследующий древнюю мобильную отрицательную структуру

фундамента – Владимирско-Казанскую межу. Она представляет собой широтную систему отрицательных структур фундамента, пересекающую северный склон Токмовского свода. В ее пределах фундамент опущен до –2000 м абс. высоты, по сравнению с – 1000 м южнее, а прогибание со скоростью от 1,6 до 2,8–3,1 мм/год продолжается и в настоящее время [Лилиенберг и др., 1972]. При этом русло Волги смещается к своему правому берегу со скоростью от 5 до 25 мм/год [Макарова и др., 2008]. Это обстоятельство, а также присутствие в составе пермских пород, слагающих уступ, песчано-глинистых и мергелистых разностей и четвертичных покровных суглинков, обуславливают развитие громадных многоступенчатых оползней. Их возраст поздненеоплейстоцен-голоценовый. Обрушение блоков в прилежащий прогиб происходит в обстановке горизонтального растяжения, фиксирующегося по трещиноватости пород. В западной части уступа, по данным М.Л. Коппа [2011], оно направлено с юго-юго запада на северо-северо-восток и меридионально при участии правосдвиговых напряжений.

3. На восточном склоне Воронежского поднятия на границе с Кривоборским прогибом, являющимся частью Окско-Донского прогиба, выделяется еще один массив, находящийся в условиях современного растяжения – Верхнедонской (см. рис. 1). Денудационный уступ, ограничивающий его с востока, протягивается по правобережьям Дона и Воронежа на расстоянии около 200 км. Западной его границей - будущей трещиной отседания - являются на юге долины Девицы и Россошки [Макеев и др., 2020], а севернее в районе Липецка - сама долина Дона. Наиболее активна южная часть уступа высотой до 70-80 м, где он сложен ниже- и верхнемеловыми песчаниками, мергелями и писчим мелом, интенсивно трещиноватыми (рис. 7), перекрытыми моренными и



Рис. 7. Обнажение верхнемеловых пород в уступе Правобережья Дона

лессовидными суглинками. Анализ трещиноватости пород, показывающий условия горизонтального широтного растяжения с левосдвиговой компонентой, подмыв уступа Доном, а также залегающие в его основании нижнемеловые глины являются причиной развития оползней и обвалов. Также оползневыми процессами захвачен крупный массив междуречья Дона и Девичы (рис. 8), долина которой приурочена к зоне разрыва. Оползни и обвалы стали развиваться еще в плиоцене к глубокому погребенному руслу Дона, в аллювии которого, по данным бурения, сохранились глыбы писчего мела.

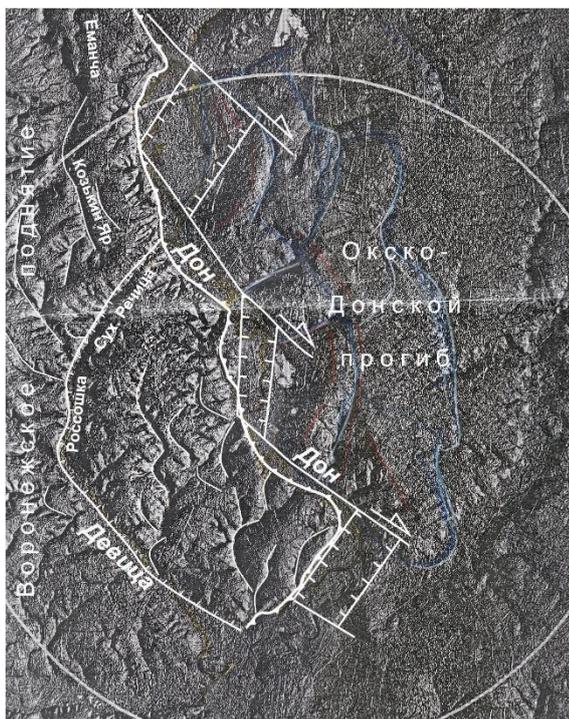


Рис. 8. Цифровая карта южного фрагмента Верхнедонской гравитационно-тектонической структуры

Заключение. В рассмотренных районах напряжения растяжения проявлены с плиоцена и действуют в четвертичное время, но с разной интенсивностью. Они наложены на структуры, образовавшиеся в более ранние периоды новейшего этапа. Наиболее активно они проявлены в настоящее время в Приволжском денудационном уступе на всем его протяжении, начиная с Волгограда на юге и до Казани на севере. При этом влияние Прикаспийского прогиба предположительно может распространяться дальше на запад, захватывая долину р. Медведицы [Новейшая..., 2006].

Рассматривая строение и условия образования денудационных уступов, ограничивающих гравитационно-тектонические массивы, помимо напряжений горизонтального растяжения, в которых они находятся в настоящее время, можно видеть общие для них особенности геологического строения. Это сходная литология осадочных пород, слагающих массивы и уступы – известняки, мергели, песчаники, пески, суглинки в

основном мезозойско-кайнозойского, реже палеозойского возраста. В основании этих отложений всегда присутствуют глинистые водоупоры, по которым сползают оползневые массы. Это глины альбского яруса нижнего мела в Приволжском уступе, нижнепермские – в Средневолжском уступе, барремского яруса нижнего мела в Верхнедонском уступе. Также общим для них является подрезание уступа руслом реки (Доном, Волгой), ведущего к обрушению пород, чему способствует и интенсивная их трещиноватость. Смещение долин может быть связано со скатыванием к современным прогибам – Заволжскому в западной части Прикаспия, Волжско-Ветлужскому на границе Токмовского свода и Московской синеклизы, Кривоборскому на границе Окско-Донского прогиба и Воронежского поднятия, а также с влиянием сил Кориолиса (все уступы приурочены к правобережьям рек). А вот в Ергенинском уступе, продолжающем к югу Приволжский уступ, есть первые два условия – песчаные породы неогенового возраста и подстилающие их глины палеоген-раннемиоценовой майкопской серии. Но при этом подрезания уступа речной долиной или абразией моря нет. Возможно, этим объясняется не активность уступа в настоящее время, его задернованность на большей части протяжения, отсутствие оползневых форм (небольшие формы присутствуют в задернованном виде) (рис. 9).



Рис. 9. Ергенинский уступ на топографической карте и фото

И если считать, по М.Л. Коппу, причиной образования уступов давление с юга, то Ергенинский уступ должен быть также активным, т.к. он, по сравнению с рассмотренными

выше, находится территориально ближе к коллизионным границам литосферных плит и, в частности, к Кавказскому орогену, чтобы испытывать передающиеся от них напряжения.

Не отрицая влияния коллизионных процессов, образование гравитационно-тектонических структур, мы, в первую очередь, связываем с самостоятельными внутриплатформенными тектоно-магматическими процессами или вещественно-структурными преобразованиями, происходящими на разных глубинных уровнях земной коры и верхней мантии, наступанием синеклиз на антеклизы, а также с ротационными процессами, влияние которых пока еще не дооценивается [Макарова и др., 2008].

Синеклизы (крупные прогибы, опускания, впадины) более активны в своем развитии в течение всей геологической истории, включая и новейший этап, по сравнению с поднятиями – антеклизмами, щитами, валами. Антеклизмы и щиты на протяжении почти всей геологической истории испытывали поднятие с незначительными периодами опускания (Воронежская антеклиза, Токмовский свод, Балтийский щит и др.). Они поднимались и развивались задолго до начала коллизионных процессов. Синеклизы испытывали попеременные опускания и поднятия, сопровождавшиеся крупными трансгрессиями и регрессиями, а на новейшем этапе большая их часть испытала значительную перестройку, была дифференцирована на целый ряд структур меньшего ранга. Вследствие этого в синеклизах возникло множество положительных структур в виде валов, горстов, куполов и др., и лишь незначительные их участки испытывают современное, чаще всего относительное опускание и реже абсолютное прогибание. Именно поэтому можно сказать, что Московская синеклиза, как крупная отрицательная структура, в новейший тектонический этап перестала существовать в рельефе. Исключение составляет Прикаспийская синеклиза, опускающаяся на большей части геологической истории, но в новейшее время и она испытывает дифференцированные движения, вследствие чего в ее пределах развиваются поднятия - антиклиналы, своды, валы, купола.

Некоторые синеклизы - крупные прогибы - в течение новейшего этапа последовательно наступают на граничащие с ними поднятия. Достаточно сравнить контуры Воронежского кристаллического массива, которые он имел до новейшего этапа, и новейшую его структуру. Из вытянутого в северо-западном направлении овального поднятия, протягивающегося от Днепровского прогиба до Прикаспийского прогиба, он превратился в сводовое поднятие [Глубинное..., 2003]. В его восточной части в новейшее время возникли Окско-Донской прогиб и Приволжское поднятие, а в западной части – ряд дугообразных поднятий и прогибов. На восточный склон (крыло) Приволжского поднятия происходит накатывание Прикаспийской впадины (прогиба). Прежняя граница Воронежской антеклизмы с Прикаспийской синеклизой - прибортовой уступ, находящийся на глубине 6-7 км, - в

настоящее время отстоит от современного правобережья Волги на расстоянии от 10-20 км на широте г. Камышина до 40-50 км на широте г. Саратова. И современное русло Волги сместилось с востока на запад на склон Приволжского поднятия от своего плиоценового (предакчагыльского) русла на расстояние до 70-100 км [Дедков, Двинских, 1995] и продолжает смещаться со скоростью 40-50 мм/год [Макарова и др., 2008]. Окско-Донской прогиб последовательно с миоцена мигрирует к западу со скоростью 5-6 мм/год, наступая на Воронежское поднятие и срезая его восточный склон. В этих примерах не маловажное значение имеет действие сил Кориолиса, вызванное ротационными процессами.

Крутые склоны поднятий на границах антеклиз и синеклиз и менее крупных структур существуют и в других частях Восточно-Европейской платформы. Это северные склоны поднятий Калачского и Острогожского у Окско-Донского прогиба, Донецкого (Донбасса) на границе с прилежащим Северско-Донецким прогибом, северного склона Воронежского поднятия у Нелидово-Рязанской шовной зоны с долиной р. Оки и др. Реки также подрезают склоны этих поднятий, смещаясь из прогибов, но никаких резких уступов, оползней и обвалов не образуется. Так же в краевых частях поднятий нет и продольных по отношению к простиранию прогибов-понижений, аналогичных тем, которые в представленных выше структурах, трактуются нами как будущие трещины отседания. Вся эта обстановка объясняется другими условиями проявленных тектонических напряжений, а именно условиями сжатия, что вместе с морфоструктурными особенностями, подтверждается анализом трещиноватости пород, определяющим здесь взбросо-надвиговые напряжения при участии сдвиговой компоненты.

В дополнение к изложенному есть ряд вопросов, на которые следует ответить. Только ли антеклизы испытывают разрушение в условиях напряжений растяжения? Влияет ли глубина залегания фундамента на интенсивность проявления напряжений растяжения? Обязательно ли присутствие глинистых водоупоров и подрезание склонов реками или морем при разрушении денудационных уступов и развития обвально-оползневых процессов? Если считать главным источником напряжений растяжения коллизионные процессы, то почему они активны на большом, в тысячи километров, расстоянии от фронта коллизии, и почему активизация распада антеклиз происходит в настоящее время, когда интенсивность коллизионных процессов, как считается, слабеет?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Востряков А. В. Неогеновые и четвертичные отложения, рельеф и неотектоника юго-востока Русской платформы. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1967. 354 с.

Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 299 с.

Дедков А.П., Двинских А.П. Структурно-литологический фактор в формировании рельефа на востоке Русской равнины // Изв. вузов. Геология и разведка. 1995. №1. С. 9-15.

Копп М.Л. Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. М.: Наука, 2004. 340 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 552).

Копп М.Л. Денудационные уступы как индикатор региональных тектонических напряжений // Геотектоника. 2011. № 5. С. 71-990.

Копп М.Л. Дугообразные структуры растяжения в кинематике региональных и глобальных тектонических обстановок: опыт кинематического анализа. М.: ГЕОС, 2017. 96 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 616).

Копп М.Л. Гравитационный коллапс антеклиз и его предполагаемое влияние на неотектонику платформ и пассивных континентальных окраин (на примере Восточно-Европейской платформы) // Геология и геофизика. 2020. т. 61. № 10. С. 1409—1427.

Лиуенберг Д.А., Сетунская Л.Е., Благоволин Н.С., Горелов С.К., Никонов А.А., Розанов Л.Л., Серебрянный Л.Р., Филькин В.А. Морфоструктурный анализ современных вертикальных движений Европейской части СССР // Геоморфология. 1972. № 1. С. 3-18

Корчуганова Н.И. Неоген-четвертичная тектоника и геодинамические условия формирования орогенов Востока Евразии. М.: Изд-во МГУ, 2000. 159 с.

Макаров В.И., Спиридонов Х.Б. Новейшая тектоника Родопского массива и прилегающих территорий // Геотектоника. 1982. №2. С. 65-79.

Макаров В.И. Новейшие орогены, их структура и геодинамика. Дисс. докт. г-м. наук. М.: ГИН АН СССР, 1990. 57 с.

Макаров В.И. Региональные особенности новейшей геодинамики платформенных территорий в связи с оценкой их тектонической активности // Недра Поволжья и Прикаспия. Спецвыпуск № 13. 1996. С. 49-60.

Макаров В.И., Дорожко А.Л., Макарова Н.В., Макеев В.М. Геодинамически активные зоны платформ // Геоэкология. Инж. геология. Гидрогеология. Геокриология. 2007. № 2. С. 99-110.

Макарова Н.В., Макаров В.И., Суханова Т.В. О соотношении эрозионных и тектонических процессов в платформенных и горных условиях // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2008. № 5. С. 4-11.

Макарова Н.В., Макеев В.М., Суханова Т.В., Микляев П.С., Дорожко А.Л., Коробова И.В. Новейшая тектоника и геодинамика Нижнеокского района (Русская плита) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2012. № 4. С. 3-11.

Макарова Н.В., Макеев М.В., Дорожко А.Л., Суханова Т.В., Коробова И.В. Геодинамические системы и геодинамически активные зоны Восточно-Европейской платформы // Бюлл. МОИП. Отд. Геология. 2016. Т. 91. № 4-5. С. 9-26.

Макарова Н.В., Суханова Т.В. Плиоцен-четвертичная тектоническая зональность северо-западной части Нижнего Поволжья / Свойства, структура, динамика и минерагения литосферы Восточно-Европейской платформы. Матер. XVI междунар. конф. Воронеж: Научная книга, 2010. Т.2. С. 48-52.

Макарова Н.В., Суханова Т.В. Развитие новейших структур в условиях перехода от напряжений сжатия к условиям растяжения / Тектоника современных и древних океанов и их окраин. Матер. XLIX Тект. совещ., посвящ. 100-летию акад. Ю.М. Пушаровского. М.: ГЕОС, 2017. Т. 1. С.263-267.

Макеев В.М., Макарова Н.В., Суханова Т.В., Пикулик Е.А. Современная геодинамика и неотектоника центральной части Русской равнины / Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики. Материалы ЛП Тектонич. совещ. М.: ГЕОС. 2020. Т. II. С. 67-72.

Огаджанов А.В. О возможной природе зон разуплотнения в земной коре Саратовского участка Поволжья // Недра Поволжья и Прикаспия. 2006. Вып. 40. С. 59-61.

УДК 551.3 / 551.2 (234.86)

ЗЕЛЕНОСЛАНЦЕВЫЙ МЕТАМОРФИЗМ ОФИОЛИТОВ РАЙОНА МЫСА ФИОЛЕНТ (ЮГО-ЗАПАДНЫЙ КРЫМ)

М.Ю. Промыслова, Л.И. Демина, В.Л. Косоруков, А.В. Валл

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ

Магматические породы Горного Крыма традиционно делились на палеотипные и кайнотипные. Первые относились к спилит-кератофировой формации [Муратов, 1969; Лебединский, Макаров, 1962; Спиридонов и др., 1990 и другие], что подразумевало высокую степень их измененности. По сути, это уже метаморфические породы, хотя первичные магматические структуры и текстуры довольно часто хорошо сохранились, в то время как первичный минеральный состав претерпел существенные изменения, а в некоторых случаях полностью замещен вторичными метаморфическими и метасоматическими парагенезисами. Следует отметить, что вопросам метаморфизма горных пород Крыма уделялось мало внимания. Магматиты района мыса Фиолент с этой точки зрения остаются практически неизученными. Согласно Э.М. Спиридонову [2018], степень метаморфизма магматитов киммерид Горного Крыма не превышает термодинамических условий цеолитовой и пренит-пумпеллиитовой фаций.

Нами изучались измененные магматиты офиолитовой ассоциации, развитой в береговых обрывах Фиолента от Мраморной балки до северо-западного окончания бухты Александры [Промыслова и др., 2016]. Здесь встречаются метаперидотиты и серпентиниты, метагаббро, метагаббро-долериты, метадолериты, метабазальты и метариолиты.

Метаперидотиты и серпентиниты обнажаются на северо-западном окончании выходов офиолитовой ассоциации, а также присутствуют в брекчиях основания мыса Львенок и межподушечных брекчиях лав клифа Царской бухты. Метагаббро слагают скалу Утюг, мыс Крокодил, часть клифа бухты Александры. Метагаббро-долериты встречены в юго-восточной части мыса Виноградный и в основании мыса Лермонтова. Метабазальты слагают скальные обрывы Мраморной, Виноградной, Царской бухт и протягиваются сплошной стеной от мыса Лермонтова до мыса Фиолент, занимая также его восточную часть. Метариолиты и их брекчии распространены преимущественно к востоку от мыса Фиолент.

МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ РАЙОНА МЫСА ФИОЛЕНТ

В данной статье приведены результаты исследования метаморфизованных магматических горных пород, отобранных на участках в районе скалы Утюг, мыса Лермонтова, бухт Александры, Царской и Яшмовой (рис. 1).

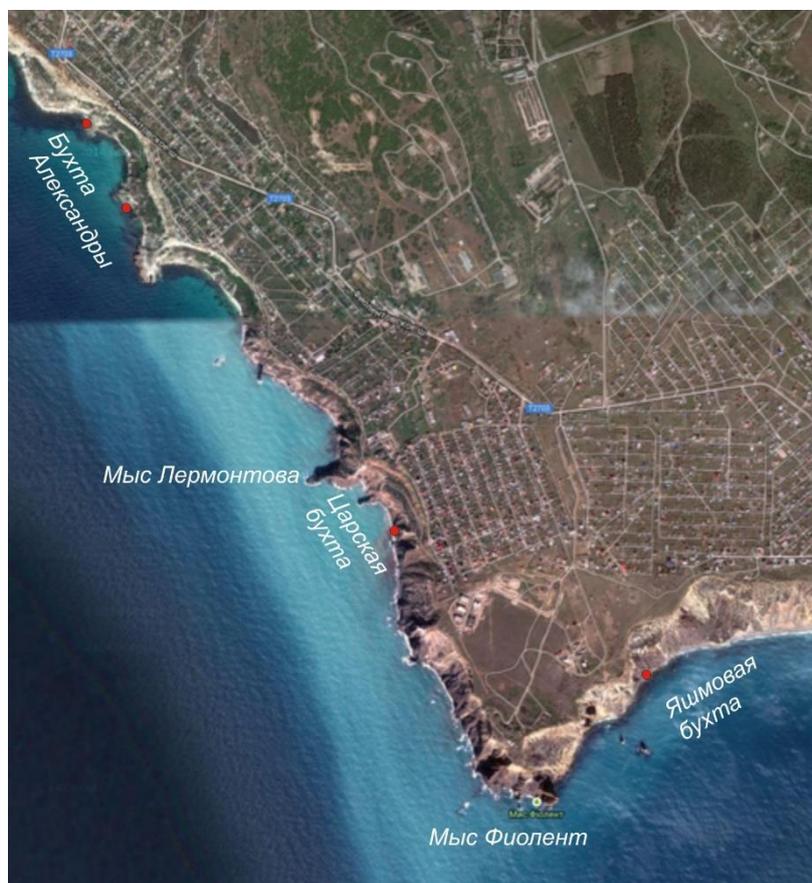


Рис. 1. Участки изучения метаморфических пород района мыса Фиолент. Точками обозначены места отбора образцов

Участок скалы Утюг расположен на западном окончании магматических выходов Фиолента. Здесь выделяются следующие типы измененных пород: metabазальты, метадолериты, метагаббро, метаперидотиты и серпентиниты (рис. 2).

Метабазальты развиты в береговых обрывах к северо-западу от скалы Утюг. Это миндалекаменные, сильно брекчированные подушечные лавы серовато-зеленого цвета с крупными скоплениями эпидота в межподушечном пространстве и миндалинах (рис. 3). Породы сложены преимущественно альбитом, эпидотом, хлоритом, кальцитом и гематитом. Первичные минералы не сохранились, в то время как структура очень хорошо видна (рис. 4).



Рис. 2. Метамагматиты участка скалы Утюг

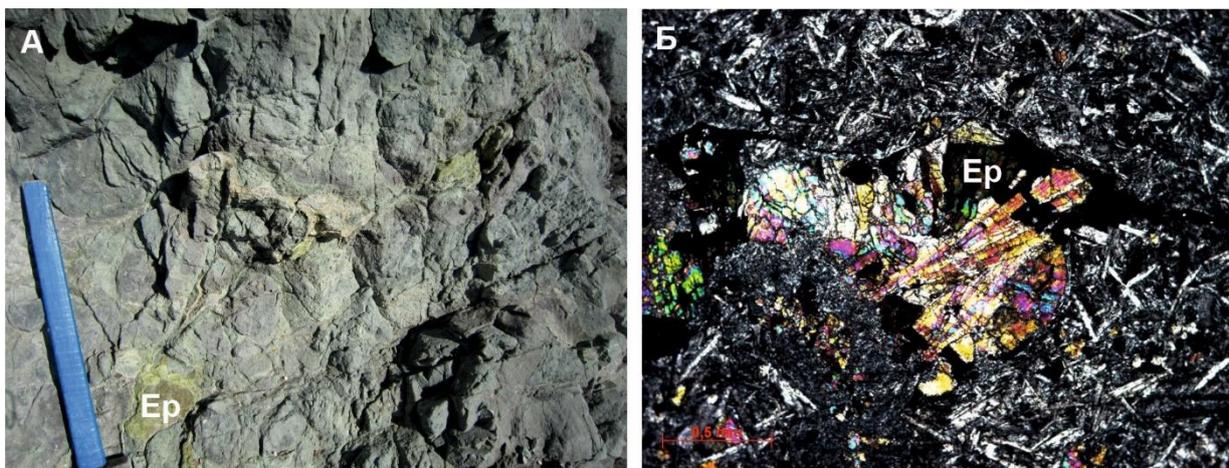


Рис. 3. Обнажение (А) и фото шлифа (Б) метабазальтов. Николи +. Ер – эпидот

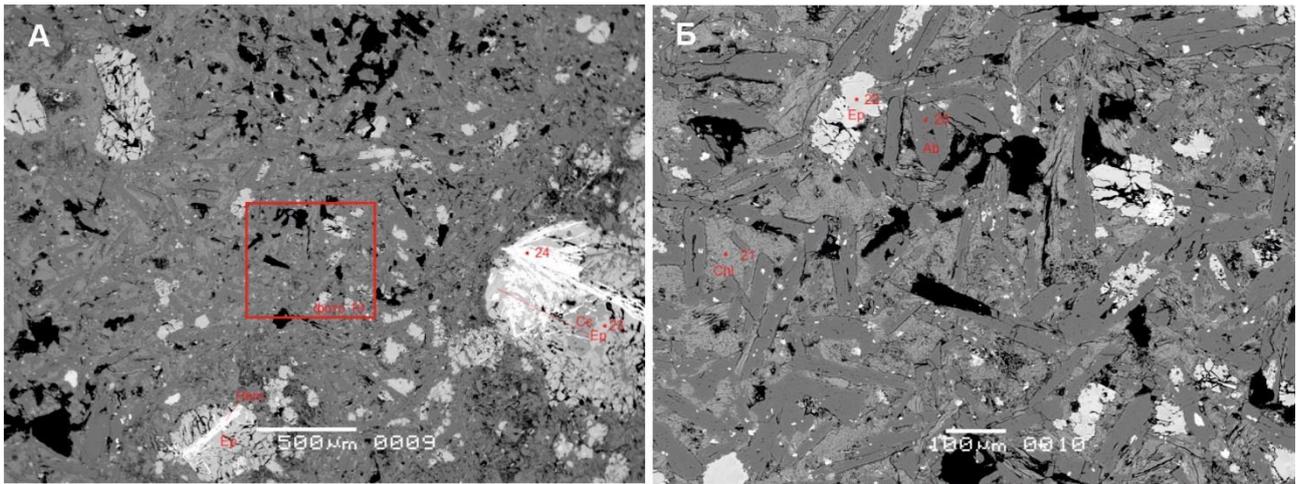


Рис. 4. Фото шлифов метабазальтов в отраженных электронах. Б - увеличенный фрагмент, выделенный на фото А. 20 – альбит, 21 – хлорит, 22, 23 – эпидот, 24 – гематит, Ab – альбит, Cc – кальцит, Chl – хлорит, Het – гематит, Ep – эпидот

Метадолериты слагают дайку северо-восточного простирания, расположенную в клифе к северо-западу от скалы Утюг. Мощность дайки около 1,5 метров. Это плотные массивные породы с типичной долеритовой структурой (рис. 5). Первичные минералы, как и в метабазальтах, полностью замещены альбитом, хлоритом, эпидотом, кальцитом. По сравнению с метабазальтами метадолериты содержат большое количество рудных минералов, преимущественно, титаномагнетитов.

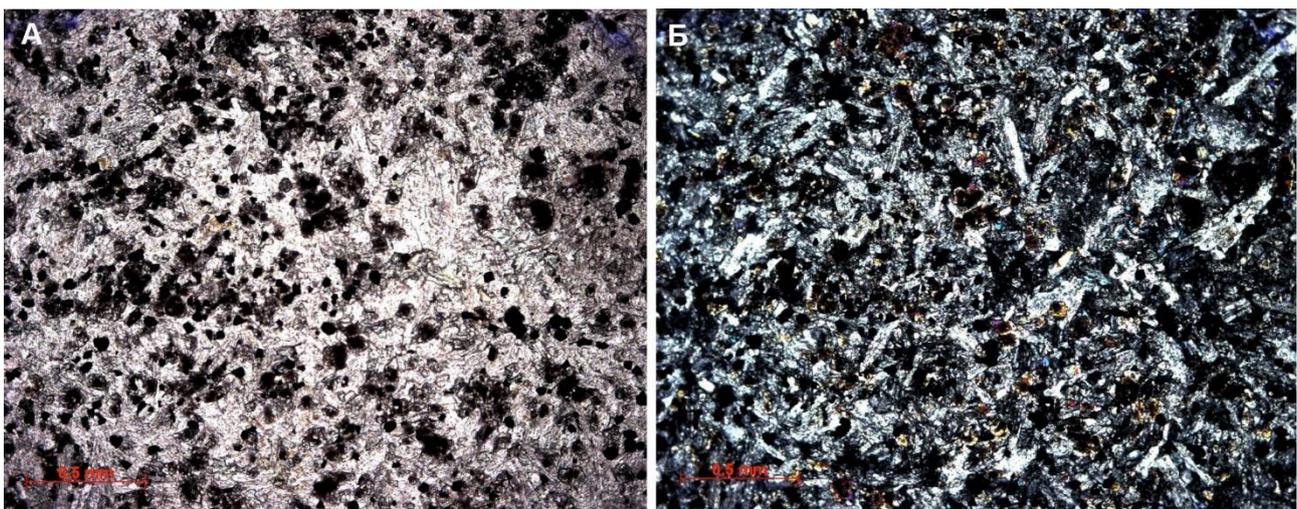


Рис. 5. Фото шлифов метадолеритов. А - Николи II, Б - Николи +.

Метагаббро слагают линзовидное тело, вытянутое с юго-востока на северо-запад. Это крупнозернистые породы серовато-зеленого цвета с массивной слабо полосчатой текстурой

(рис. 6, А) и офитовой структурой. Из первичных минералов сохранились только клинопироксен и титаномагнетит. Основные метаморфогенные минералы представлены эпидотом, хлоритом и альбитом (рис. 6, Б).

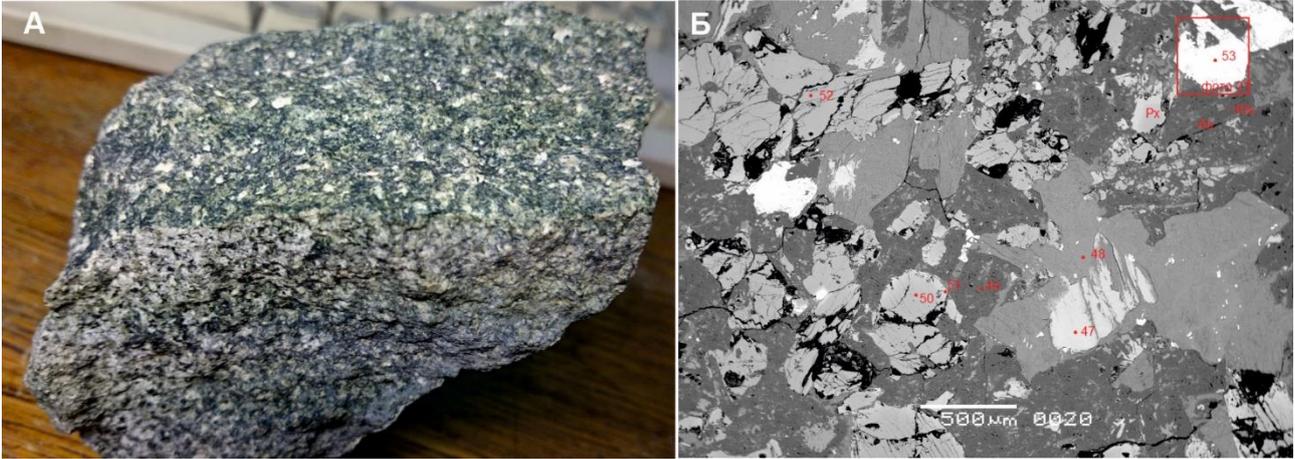


Рис. 6. Штуф (А) и фото шлифов метагаббро в отраженных электронах (Б). 47 – эпидот, 48 – хлорит, 49 – альбит, 50, 52 – пироксен, 53 – титаномагнетит, Ab – альбит, Kfs – калиевый полевой шпат, Px – пироксен

Метаперидотиты и серпентиниты слагают перешеек скалы Утюг и береговые обрывы к западу от него протяженностью около 40 метров. Серпентиниты имеют буроватый темно-серый цвет на выветрелой поверхности и пятнистую окраску разных оттенков зеленого цвета с шелковистым блеском на свежих сколах (рис. 7).

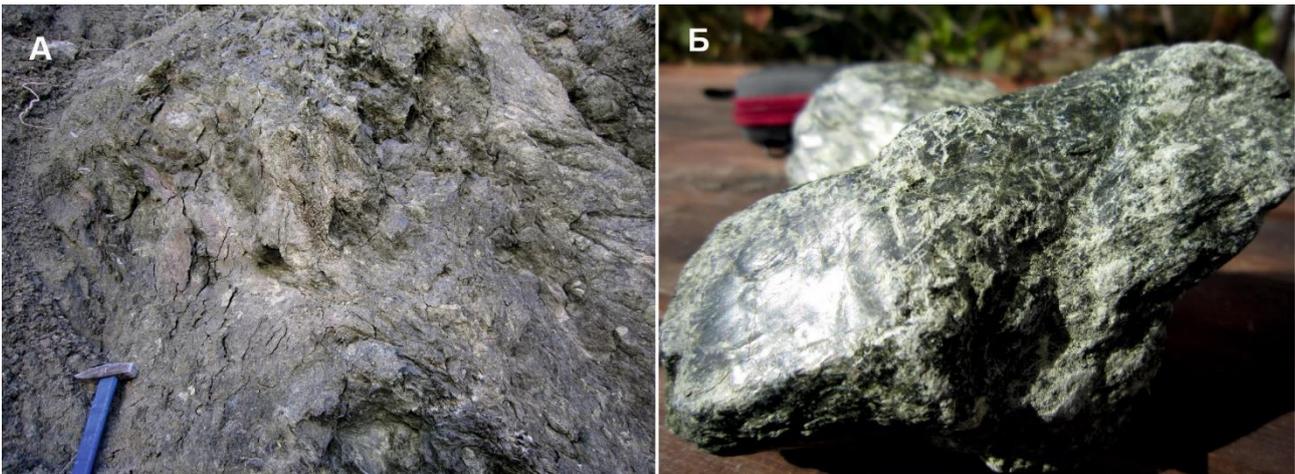


Рис. 7. Обнажение (А) и штуф (Б) серпентинитов

Метаперидотиты и серпентиниты сложены раздробленными зернами клинопироксена размером до 2-3 мм, а также наложенными чешуйками серпентина, актинолита, хлорита, талька, зернами эпидота, карбоната и рудных минералов, среди которых присутствуют

хромшпинелиды (рис. 8). Серпентинизация проявлена неравномерно и приурочена к трещинкам, параллельным направлению расланцевания пород. Рентгенофазовый анализ показал, что серпентин представлен антигоритом. Также установлены смектит (29-72%), кальцит (5-63%), доломит (3%), кварц (2%).

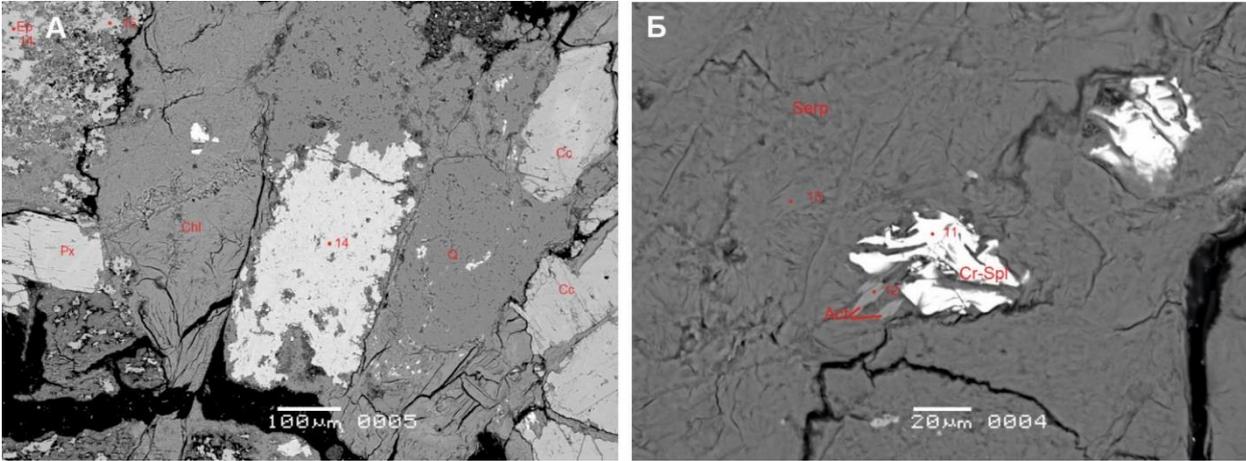


Рис. 8. Фото шлифов серпентинитов в отраженных электронах. 11 – хромшпинелид, 12 – актинолит, 13 – серпентин, 14 – эпидот, 15 – эпидот, Ab – альбит, Act – актинолит, Cc – кальцит, Chl – хлорит, Cr-Spl – хромшпинелид, Ep – эпидот, Kfs – калиевый полевой шпат, Q – кварц, Px – пироксен

Таким образом, в метаперидотитах и серпентинитах, метагаббро, метадолеритах и матабазальтах участка скалы Утюг установлены парагенезисы эпидот-хлоритовой и актинолит-альбитовой минеральных ступеней зеленосланцевой фации.

Участок бухты Александры. В береговых обрывах бухты Александры обнажаются средне-крупнозернистые метагаббро зеленовато-серого цвета с массивной текстурой и офитовой структурой. Плагноклаз интенсивно изменен и замещен альбитом и эпидотом, пироксен – частично эпидотом и хлоритом (рис. 9).

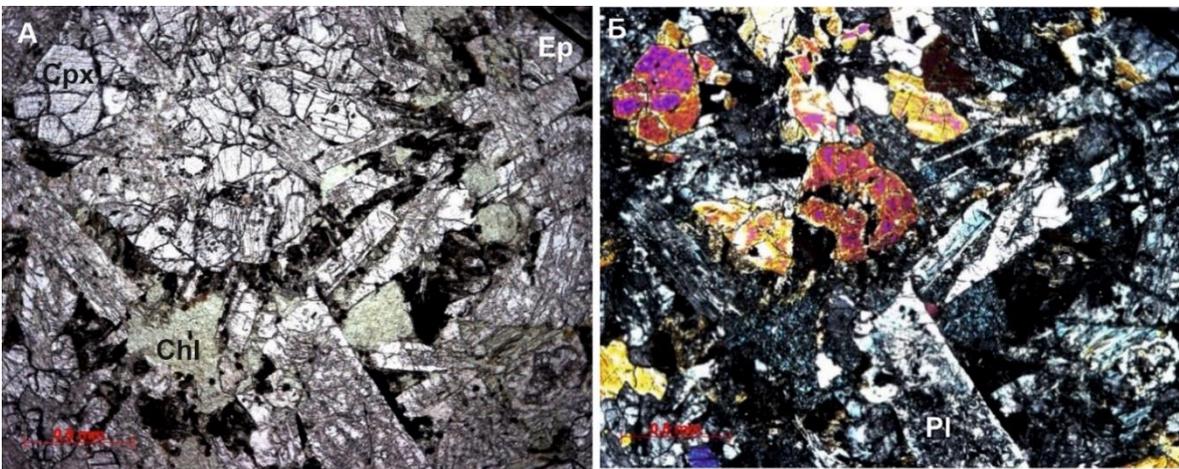


Рис. 9. Фото шлифов метагаббро бухты Александры. А - Николи II, Б - Николи +. Chl – хлорит, Ep – эпидот, Срх – клинопироксен

Таким образом, степень метаморфизма габбро этого участка соответствует эпидот-хлоритовой минеральной ступени зеленосланцевой фации.

Участок Царской бухты. Подушечные лавы, слагающие обрывы Царской бухты (рис. 10), имеют зеленовато-серый цвет и изменены относительно слабо в условиях цеолитовой фации метаморфизма, о чем свидетельствуют присутствие цеолитов и прожилки пренита, наблюдаемые как в лавах, так и в межподушечных брекчиях (рис. 11). Отметим, что пренит устойчив в условиях как пренит-пумпеллиитовой, так и цеолитовой фации [Bucher, Grapes, 2012].

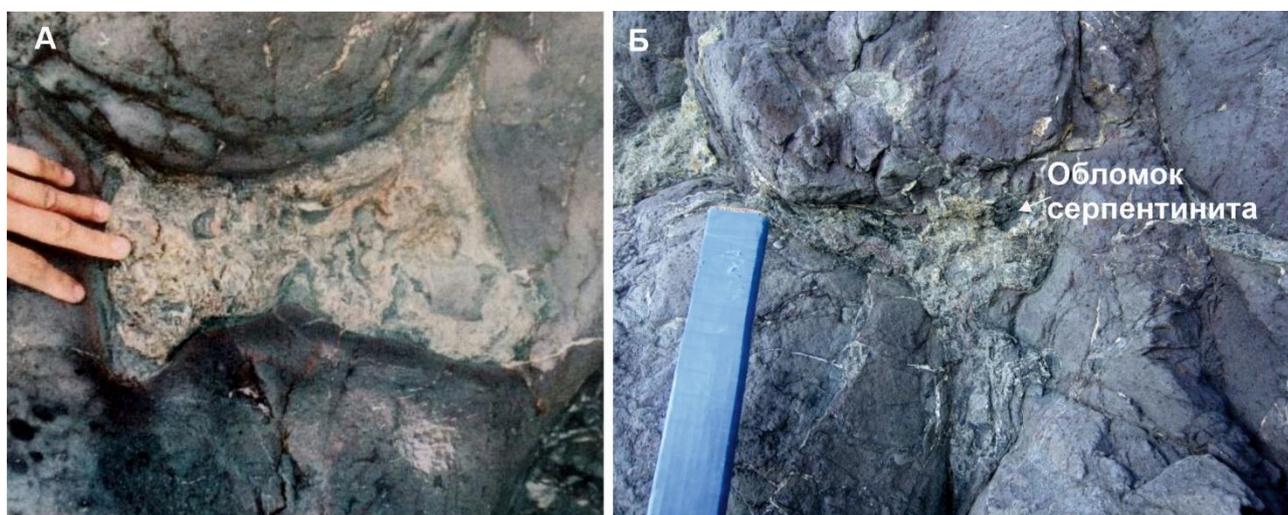


Рис. 10. Обломки серпентинитов (темно-зеленое) в брекчиях межподушечного пространства метабазальтов Царской бухты

В метабазальтах хорошо сохранилась первичная порфировая структура с вкрапленниками пироксена и альбитизированного плагиоклаза. В основной массе присутствуют альбит, цеолиты, смектиты и другие вторичные минералы (рис. 11).

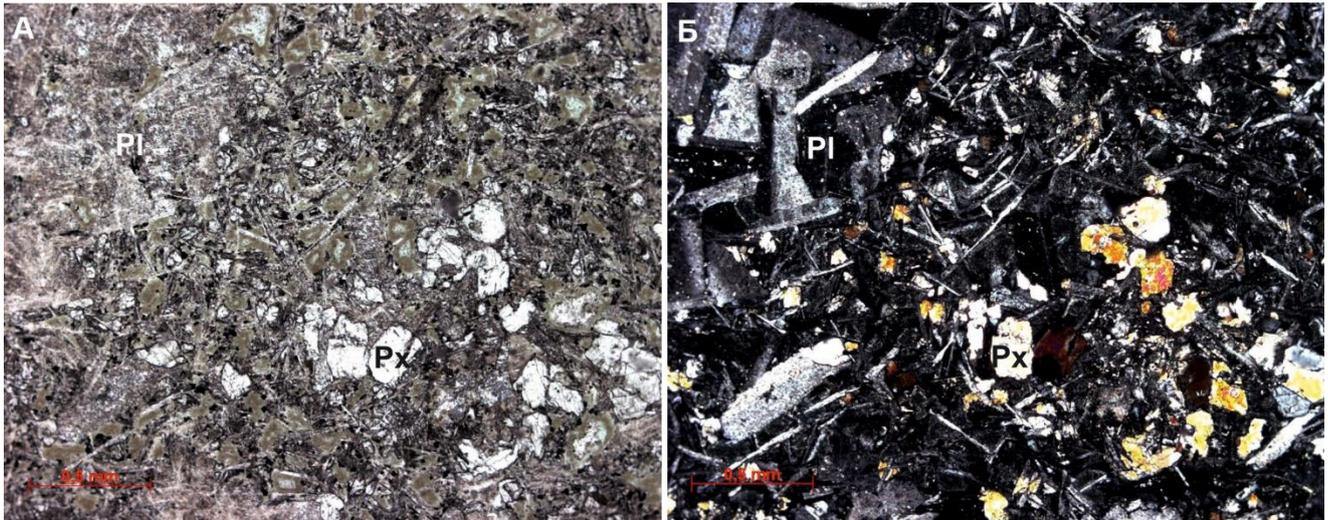


Рис. 11. Фото шлифов метабазальтов клифа Царской бухты. А-николи II, Б-николи +.

Px – пироксен, Pl – плагиоклаз

Межподушечное пространство сложено кремнистыми образованиями с обломками лав и серпентинитов и пронизано прожилками пренита (рис. 12).



Рис. 12. Прожилоч пренита (А) и обломок антигоритового серпентинита (Б) из межподушечной брекчии метаазальтов Царской бухты

Как показал рентгенофазовый анализ, серпентин представлен антигоритом, который является более высокотемпературной фазой по сравнению с хризотилом и характерен для пород зеленосланцевой фации метаморфизма. Этот факт свидетельствует о том, что в межподушечных брекчиях присутствуют породы, метаморфизованные до момента их захоронения в лавах. Таким образом, можно сделать вывод о двух разновозрастных и

разнофациальных стадиях метаморфизма. Более ранний метаморфизм являлся также и более высокотемпературным.

Рентгенофазовым анализом в серпентинитах, помимо антигорита (11%), также установлены смектит (11%), тальк (6%), сепиолит (5%), кальцит (26%), альбит (1%), гетит (3%). Пренит в количестве 37 % является более поздним наложенным минералом. В лавах из брекчии присутствует гидрослюда (1%), смектит (38%), цеолит (1%), пренит (5%), альбит (36%), калиевый полевой шпат (2%), кальцит (1%) и реликтовый магматический клинопироксен - авгит (3%).

Участок Яшмовой бухты. В клифе западной части Яшмовой бухты тектонически совмещены подушечные лавы, существенно различающиеся по степени метаморфизма от зеленосланцевой до цеолитовой фаций (рис. 13). Более метаморфизованные лавы имеют зеленый цвет, сложены парагенезисами зеленосланцевой фации: альбитом, эпидотом, хлоритом. Менее измененные лавы сероватых оттеков сложены альбитом, цеолитами и агрегатами труднодиагностируемых вторичных минералов (рис. 14).

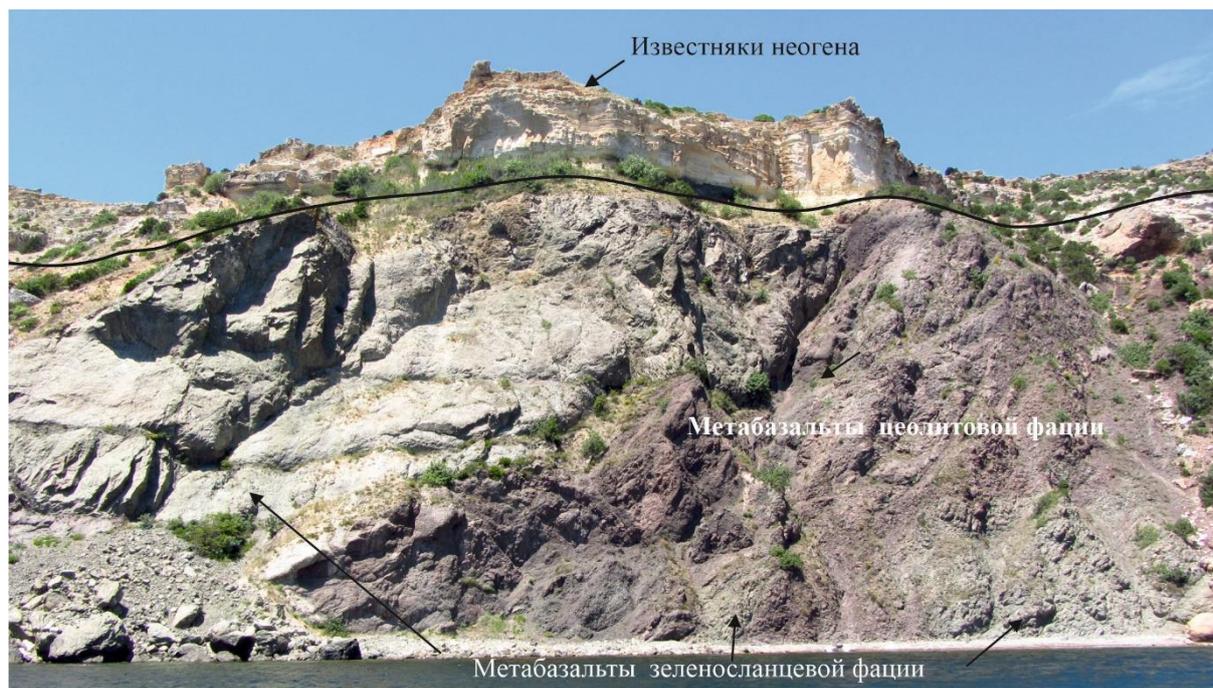


Рис. 13. Кластолиты метабазальтов разной степени метаморфизма в клифе западной части Яшмовой бухты

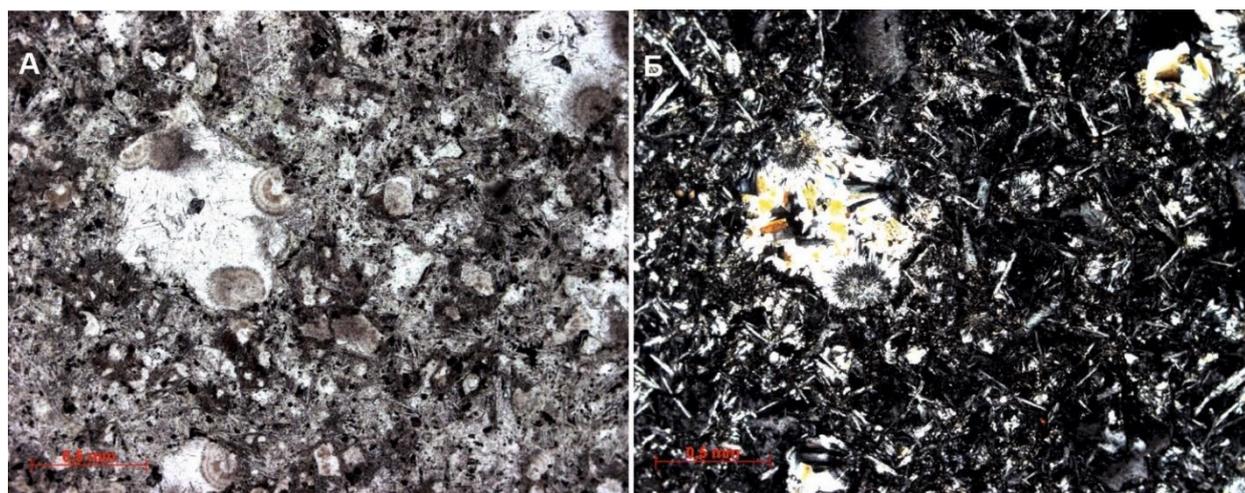


Рис. 14. Фото шлифов metabазальтов клифа западной части Яшмовой бухты. А-николи II, Б-николи+

Метабазальты кластолтов представляют собой различные части лавовых разрезов, совмещенных при формировании выделенной В.В. Юдиным [2011] Предгорной позднеюрско-раннемеловой коллизионной сутуры. Аналогичная ситуация наблюдается и в клифе Мраморной бухты на восточном участке Фиолента, где также обнажаются подушечные лавы с разной степенью метаморфизма, разделенные толщей брекчий [Промыслова и др. 2017].

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ МЕТАМОРФИЗМА

Изучение вторичных изменений горных пород офиолитовой ассоциации района мыса Фиолент на участке от бухты Александры до Яшмовой показало, что они метаморфизованы в условиях зеленосланцевой и цеолитовой фаций. Понижение степени метаморфизма в целом происходит с северо-запада на юго-восток. В этом же направлении намечается и наращивание разреза офиолитовой ассоциации [Промыслова и др., 2016].

Для уточнения состава минералов, а также с целью определения РТ-условий метаморфизма были произведены микрозондовые анализы хлоритов, эпидотов и полевых шпатов в Лаборатории микроанализа кафедры петрологии геологического факультета МГУ. Расчеты химического состава на атомные количества в формулах минералов проведены по программе В.О. Япаскурта.

Количественная оценка температур и давлений, при которых протекают процессы метаморфизма, осуществляется по геотермометрам и геобарметрам, построенным на распределении изоморфных химических элементов между сосуществующими минералами. Данная методика очень широко применяется в основном для относительно глубокометаморфизованных пород от эпидот-амфиболитовой до гранулитовой фаций

[Перчук, Рябчиков, 1976]. Для низкометаморфизованных пород набор геотермометров и геобарометров ограничен. В этом случае обычно используются составы отдельных минералов. Наиболее часто по составу хлоритов определяются температуры, а фенгитов – давления.

Хлориты представляют собой слоистые алюмосиликаты с широким изоморфизмом многих элементов. Они часто образуют смешаннослойные минералы типа хлорит-серпентин, тальк-хлорит, хлорит-вермикулит, хлорит-монтмореллонит [Бетехтин, 2007]. Химические составы хлоритов горных пород офиолитовой ассоциации Фиолента приведены в таблице 1.

Табл. 1. Химический состав хлоритов

№ п.п.	1	2	3	4	5	6	7
№ обр.	32/4_7	32/4_13	32/4_1	32/4_2	31_21	32/3_46	У-1_48
SiO ₂	34,78	33,87	34,97	34,50	32,54	30,67	30,13
Al ₂ O ₃	16,23	14,54	14,91	16,45	17,81	16,39	19,26
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	0,11	-	-
FeO	9,20	12,36	10,53	10,53	16,49	18,61	16,78
MnO	0,26	0,25	0,26	0,24	0,40	0,30	0,28
MgO	25,11	24,45	25,28	26,01	21,24	20,90	21,70
CaO	0,92	0,61	0,64	0,46	0,44	0,36	0,16
Na ₂ O	-	-	-	-	0,09	-	0,06
K ₂ O	0,08	0,07	0,06	0,05	0,21	0,04	0,04
Сумма	86,58	86,15	86,50	88,24	89,41	87,47	88,39
Атомные количества							
Si	2,89	2,88	2,92	2,83	2,72	2,67	2,56
Al	1,59	1,46	1,47	1,59	1,76	1,68	1,93
Cr	-	-	-	-	0,01	-	-
Ti	-	-	-	-	0,01	-	-
Fe	0,64	0,88	0,73	0,72	1,15	1,37	1,19
Mn	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
Mg	3,11	3,10	3,15	3,18	2,65	2,71	2,75
Ca	0,08	0,06	0,06	0,04	0,04	0,03	0,01
Na	-	-	-	-	0,01	-	0,01
K	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	-
X _{Mg}	0,83	0,78	0,81	0,81	0,70	0,66	0,70

Примечание. 1-4 – метанеридотиты. 5 – метабазальты. 6- метадолериты. 7 – метагаббро

По химическому составу хлориты относятся к группе пеннинов с высоким содержанием оксидов магния и алюминия [Булах, 2015]. Хлориты метаперидотитов более магнезиальные ($X_{Mg}=0,78-0,83$), чем metabазальтов ($X_{Mg}=0,70$), метадолеритов ($X_{Mg}=0,66$) и метагаббро ($X_{Mg}=0,66-0,70$).

Для определения температурных условий метаморфизма был использован геотермометр А.Р. Котельникова и др. [2012]. Результаты пересчета представлены в таблице 2.

Табл. 2. Результаты расчета температур по хлоритовому геотермометру

№ обр.	32/4_7	32/4_13	32/4_1	32/4_2	31_21	32/3_46	У-1_48
Температура формирования минерала $\pm 15^\circ\text{C}$	326.42	302.93	304.98	326.83	357.26	343.46	388.31

Полученные температуры находятся в интервале $302-388^\circ\text{C}$, что соответствуют фации зеленых сланцев (рис. 15).

Количественная оценка давления не проведена из-за отсутствия фенгитов в изученных породах. Можно предположить, что она было небольшим, поскольку практически весь алюминий хлоритов находится в четверной координации. Также в породах широко распространен смектит, который неустойчив при давлениях выше 1-2 кбар [Миясиро и др., 1983; Курносов, 1986]. Этот вопрос требует дальнейших исследований.

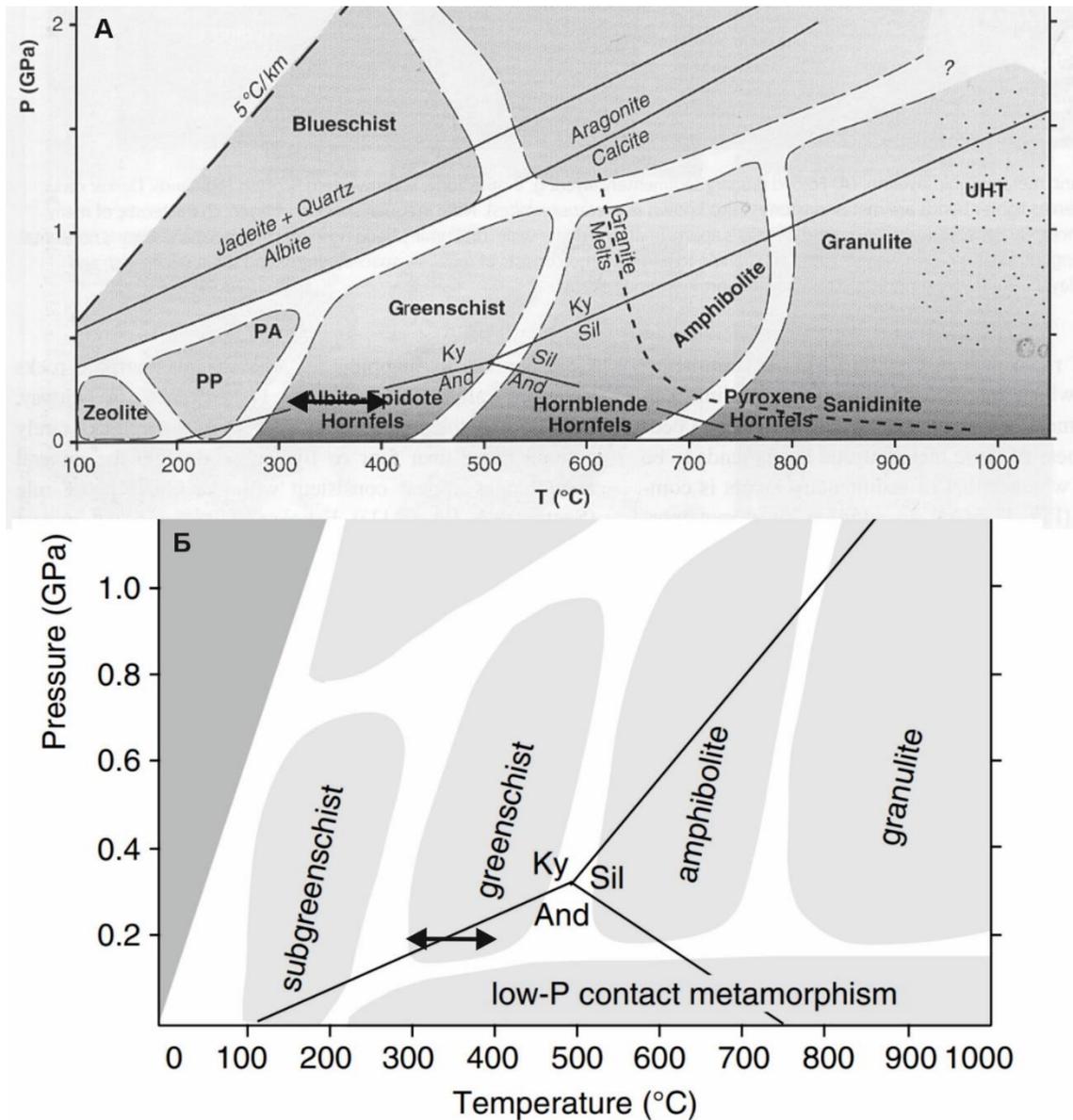


Рис. 15. Фации метаморфизма: А – по [Philpotts, Ague, 2015]; Б – по [Bucher, Grapes, 2012]. Двусторонней стрелкой показан температурный интервал зеленосланцевого метаморфизма, рассчитанный по хлоритовому геотермометру А.Р. Котельникова и др. [2012]

Эпидоты. Химический состав эпидотов приведен в таблице 3. В целом они довольно близки по содержанию оксидов кальция и алюминия. Наиболее существенные различия характерны для оксидов железа и кремния. Следует отметить очень близкий состав эпидотов из metabasalts и metagabbro, что может косвенно свидетельствовать о происхождении их из единого родоначального базитового расплава.

Табл. 3. Химический состав эпидотов

№ п.п.	1	2	3	4	5	6
№ обр.	32/4_5	32/4_14	32/4_15	31_22	31_23	У-1_47
SiO ₂	43,80	37,99	43,44	37,91	37,79	37,36
TiO ₂	0,10	-	0,12	0,11	-	0,12
Al ₂ O ₃	24,57	27,09	23,98	26,11	23,83	24,59
FeO	1,83	9,01	2,66	11,60	13,54	11,99
MnO	0,09	0,21	0,15	0,59	0,11	0,10
MgO	0,13	0,14	0,38	0,09	0,00	0,22
CaO	26,43	23,56	25,85	22,78	23,30	22,91
Na ₂ O	0,06	-	-	-	-	-
K ₂ O	-	-	-	0,05	-	-
Сумма	97,01	98,00	96,58	99,24	98,57	97,29
Атомные количества						
Si	3,53	3,14	3,53	3,14	3,19	3,17
Al	2,33	2,64	2,30	2,55	2,37	2,46
Ti	0,01	-	0,01	0,01	-	0,01
Fe	0,12	0,62	0,18	0,80	0,96	0,85
Mn	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01
Mg	0,02	0,02	0,05	0,01	0,00	0,03
Ca	2,28	2,09	2,25	2,02	2,11	2,08
Na	0,01	-	-	-	-	-
K	-	-	-	0,01	-	-
X _{Mg}	0,11	0,03	0,20	0,01	0,00	0,03

Примечание. 1-3 – метAPERидотиты. 4-5 – метаБазальты. 6 – метагаббро

Эпидоты такого состава широко распространены в метаморфических породах как зеленосланцевой, так и эпидот-амфиболитовой фаций [Bucher, Grapes, 2012].

Полевые шпаты. В метаБазальтах микронзондовым анализом установлен чистый альбит без примесей кальция и калия (табл. 4, ан. 1). В метагаббро и метадолеритах также присутствуют альбиты с незначительными примесями железа, кальция и калия (табл. 4, ан. 2, 4). В метадолеритах также в центральной части альбитизированного зерна были проанализированы реликты первичного плагиоклаза, содержащего равные доли альбита и анортита (табл. 4, ан. 3).

Табл. 4. Химический состав полевых шпатов

№ п.п.	1	2	3	4	5	6
№ обр.	31_20	32/3_43	32/3_44	32/3_45	У-1_49	У-1_54
SiO ₂	69,51	67,41	55,42	64,56	67,71	64,80
Al ₂ O ₃	21,06	21,45	29,24	19,75	20,82	19,77
FeO	0,17	0,12	0,80	0,25	0,10	0,15
MgO	-	-	0,05	-	-	-
CaO	-	0,73	9,96	0,11	0,09	0,08
Na ₂ O	11,68	11,01	5,45	0,10	11,33	0,17
K ₂ O	0,00	0,07	0,27	16,71	-	16,68
Сумма	102,42	100,79	101,19	101,48	100,05	101,65
Атомные количества						
Si	2,96	2,93	2,47	2,95	2,95	2,95
Al	1,06	1,10	1,54	1,06	1,07	1,06
Fe	0,01	-	0,03	0,01	-	0,01
Mg	-	-	-	-	-	-
Ca	-	0,03	0,48	0,01	-	-
Na	0,97	0,93	0,47	0,01	0,96	0,02
K	-	-	0,02	0,97	-	0,97

Примечание. 1 – метабазальты. 2-4 – метадолериты. 5-6 – метагаббро

В метадолеритах и метагаббро микронзондовым анализом были определены калиевые полевые шпаты, развивающиеся по альбиту (табл. 4, ан. 4, 6). Подобные взаимоотношения полевых шпатов характерны для метамагматитов рифтовой зоны Срединно-Атлантического хребта [Миясиро и др., 1973].

ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА МЕТАМОРФИЗМА

Метаморфизм пород офиолитовой ассоциации района мыса Фиолент относится к особому океаническому типу, который проявляется в зонах спрединга океанов и задуговых бассейнов. Метаморфические породы в подобных зонах чрезвычайно широко распространены [Гричук, 2000; Складов и др., 2001; Курносков, 1986; Силантьев, 1995; Миясиро и др., 1973; Philpotts, Ague, 2015; Bucher, Grapes, 2012 и многие другие].

В областях распространения океанического метаморфизма наблюдается характерный набор горных пород (метагипербазиты и метабазиты) с хорошей сохранностью первичных

магматических структур и текстур и с типичным для океанической коры характером изменений, выраженном в присутствии парагенезисов зеленосланцевой и цеолитовой фаций, широким развитием смектитов. Все эти особенности, как и РТ-условия метаморфизма характерны для офиолитов района мыса Фиолент, сформированных в зоне спрединга задугового бассейна, что было установлено авторами ранее [Промыслова и др., 2016].

На рис. 16 показана область современного океанического метаморфизма медленноспрединговых хребтов, а также типы пород, распространенных в пределах рифтовой зоны. Это metabазальты, метагаббро и метаперидотиты, то есть те же породы, которые наблюдаются и в районе мыса Фиолент.

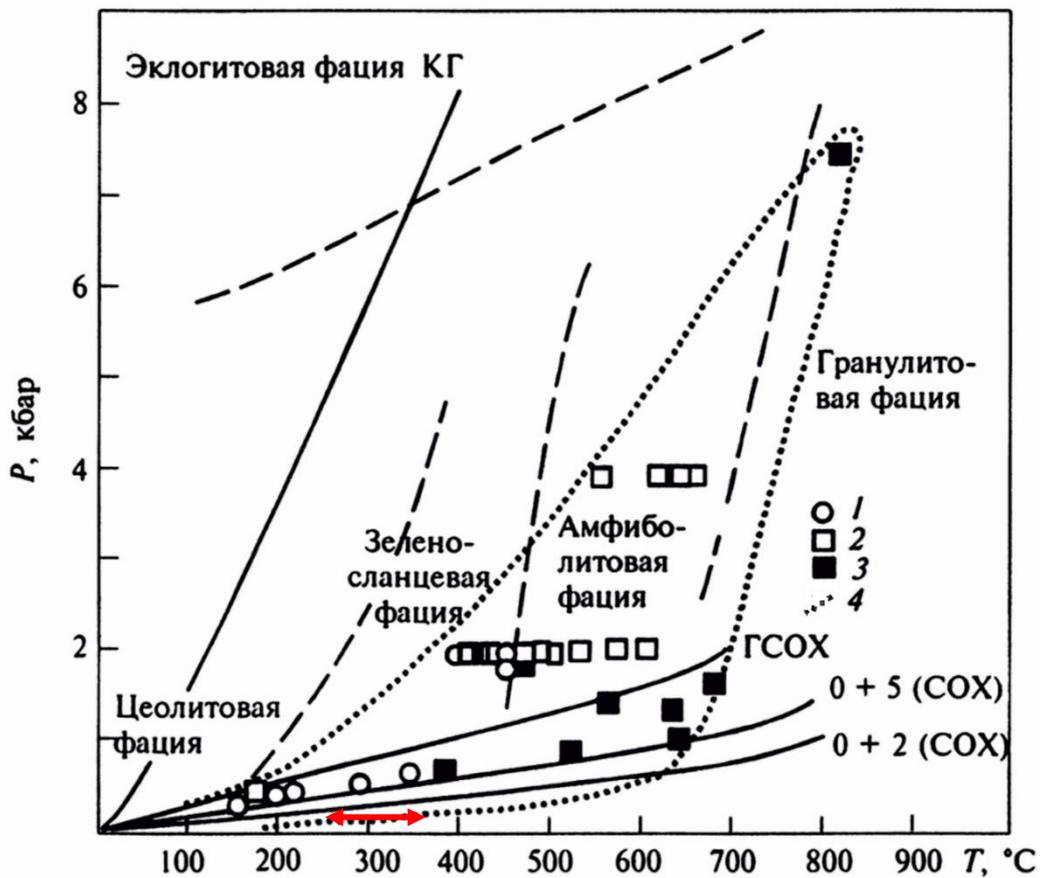


Рис. 16. Распределение РТ-условий метаморфизма в океанической коре современных океанических бассейнов [Силантьев, 1995]. Штриховые линии соответствуют границам между фациями метаморфизма базитов. Геотермы: КГ – континентальная, ГСОХ – под срединно-океаническими хребтами, 0+5 СОХ и 0+2 СОХ – на удалении 5 и 2 км от осевой зоны рифтовой долины. Ход изотерм показан для хребтов с низкой скоростью спрединга: 1 – metabазальты, 2 – метагаббро, 3 – метагипербазиты, 4 – область океанического метаморфизма. Красной линией обозначен температурный интервал метаморфизма офиолитов Фиолента

Океанический тип метаморфизма существенно отличается от других, характерных для складчатых областей континентов, регрессивным течением на нисходящих ветвях гидротермальных систем (рис. 17).

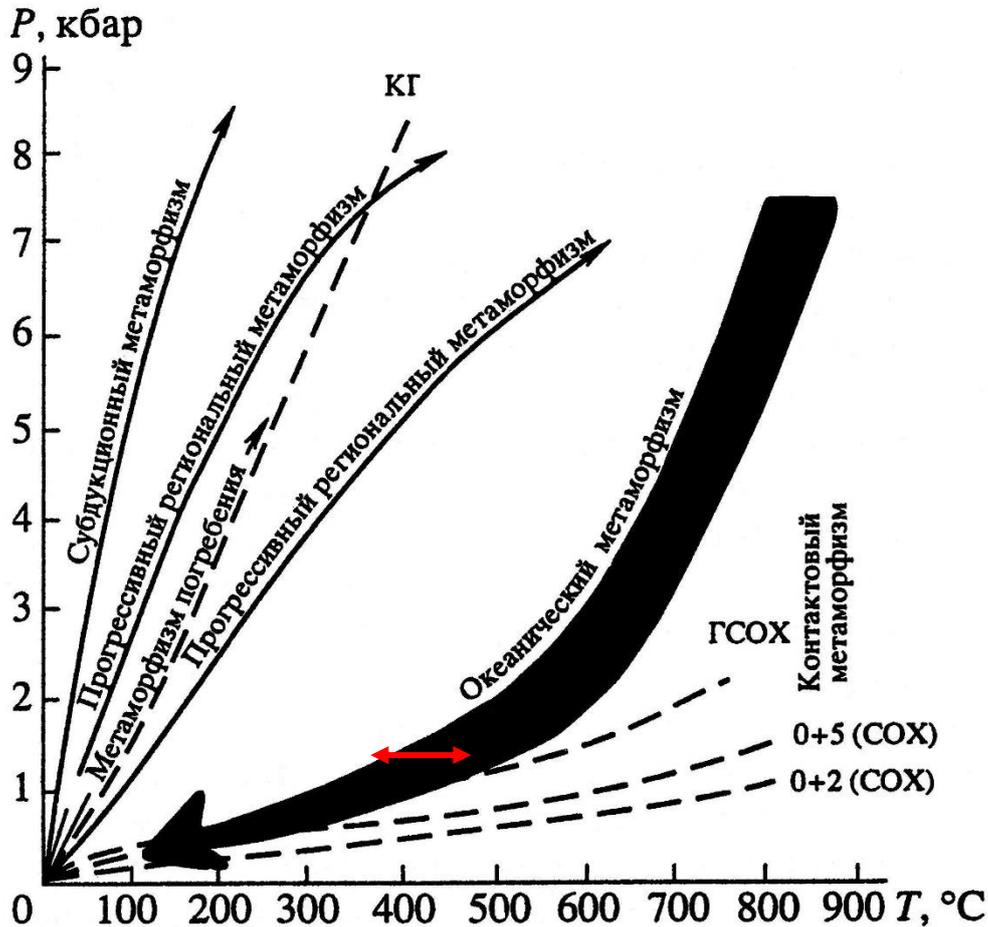


Рис. 17. Сравнение P-T тренда метаморфизма в современных океанических бассейнах с P-T трендами, характерными для субдукционного метаморфизма, прогрессивного регионального метаморфизма континентов и метаморфизма погребения [Силантьев, 1995]. Обозначения геотерм СОХ см. рис. 16. Красной линией обозначен температурный интервал метаморфизма офиолитов Фиолента

Следует отметить, что метамагматиты офиолитовой ассоциации разбиты многочисленными разрывами различных простираний и падений, где они брекчированы, катаклазированы, милонитизированы, рассланцованы и сильно изменены. Эти, существенно более поздние процессы динамического метаморфизма, связаны с формированием позднеюрско-раннемеловой Предгорной коллизионной сутуры.

ВЫВОДЫ

1. Горные породы офиолитовой ассоциации района мыса Фиолент метаморфизованы в условиях как цеолитовой, так и зеленосланцевой фаций.

2. В метамагматитах западной части Фиолента установлены парагенезисы эпидот-хлоритовой и актинолит-альбитовой минеральных ступеней зеленосланцевой фации. Температура метаморфизма метагипербазитов и metabазитов находится в интервале 300-390° С, что соответствует условиям зеленосланцевой фации.

3. Метаморфизм офиолитовой ассоциации Фиолента относится к особому океаническому типу, который проявляется в зонах медленного спрединга океанов и задуговых бассейнов. Набор горных пород (метаперидотиты, метагаббро, метадолериты и metabазальты), характер изменений (присутствие пород зеленосланцевой и цеолитовой фаций), широкое развитие смектитов, в том числе и вторичных по серпентинам, хорошая сохранность первичных магматических структур и текстур аналогичны офиолитам района мыса Фиолент. Их принадлежность к зоне спрединга задугового бассейна была показана авторами ранее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бетехтин А.Г.* Курс минералогии. М.: КДУ, 2007. 720 с.
- Булах А.Г., Золотарёв А.А., Кривовичев В.Г.* Структура, изоморфизм, формулы, классификация минералов. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2014. 133 с.
- Гричук Д.В.* Термодинамические модели субмаринных гидротермальных систем. М.: Научный мир, 2000. 304 с.
- Котельников А.Р., Н.И. Сук, Котельникова З.А., Щекина Т.И., Калинин Г.М.* Минеральные геотермометры для низкотемпературных парагенезисов ВЕСТНИК ОНЗ РАН, Т. 4, NZ9001, doi:10.2205/2012NZ_ASEMPG, 2012.
- Курносков В.Б.* Гидротермальные изменения базальтов в Тихом океане и металлоносные отложения (по материалам глубоководного бурения). М.: Наука, 1986. 251с.
- Лебединский В. И., Макаров Н. Н.* Вулканизм Горного Крыма. Киев: АН Укр. ССР, 1962. 202 с.
- Лебединский В. И., Соловьев И.В.* Байосские вулканоструктуры Горного Крыма // Геологический журнал. 1988. № 4. С. 85–93.
- Миясиро А., Сидо Ф., Юинг М.* Метаморфизм в пределах Срединно-Атлантического хребта близ 24 и 30° с. ш. // Петрология изверженных и метаморфических пород дна океана. М.: Мир. 1973. С. 140–153.

Муратов М. В. (ред.) Геология СССР. Крым. Том 8. Часть 1. Геологическое описание. М.: Недра. 1969. 575 с.

Перчук Л.Л., Рябчиков И.Д. Фазовое соответствие в минеральных системах. М: Недра, 1976. 287 с.

Промыслова М.Ю., Демина Л.И., Бычков А.Ю., Гуцин А.И., Короновский Н.В., Царев В.В. Офиолитовая ассоциация района мыса Фиолент (Юго-Западный Крым)// Геотектоника. 2016. № 1. С. 25–40.

Промыслова М.Ю., Демина Л.И., Бычков А.Ю., Гуцин А.И., Царев В.В. Природа магматизма района мыса Фиолент (Юго-Западный Крым)// Вестник МГУ. Серия 4, геология. 2014. № 6. С. 14–22.

Промыслова М.Ю., Демина Л.И., Гуцин А.И., Короновский Н.В. Типы брекчий офиолитовой ассоциации Юго-Западного Крыма и их значение для палеогеодинамики региона // Вестник МГУ. Серия 4, геология. 2017. № 2. С. 35–40.

Промыслова М.Ю., Демина Л.И., Косоруков В.Л., Царев В.В. Метаморфизм офиолитов района мыса Фиолент (Юго-Западный Крым) // Геодинамические обстановки и термодинамические условия регионального метаморфизма в докембрии и фанерозое. Материалы V Российской конференция по проблемам геологии и геодинамики докембрия. СПб.: Sprinter, ИГГД РАН, 2017. С. 151–153.

Силантьев С.А. Метаморфизм в современных океанических бассейнах // Петрология, 1995. Т. 3. № 1. С. 24–36.

Склярёв Е.В., Донская Т.В., Мазукабзов А.М., Сизых А.И., Буланов В.А. Метаморфизм и тектоника. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 216 с

Спиридонов Э.М., Федоров Т.О., Ряховский В.М. Магматические образования Горного Крыма // Бюл. Моск. об-ва испытателей природы. Отд. Геол. 1990. Т. 65. Вып. 4. С. 119–133.

Спиридонов Э.М. Метаморфические образования киммерид Горного Крыма// Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии. Материалы L Тектонического совещания «Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии». Т. 2. М.: ГЕОС, 2018. С. 223–227.

Юдин В.В. Геодинамика Крыма. Симферополь: ДИАЙПИ. 2011. 333 с.

Bucher R., Grapes R. Petrogenesis of Metamorphic Rocks. Springer: Heidelberg-Dordrecht-London-New York, 2012. 428 p.

Philpotts A.R., Ague J.J. Principles of Igneous and Metamorphic Petrology. Cambridge University Press. Second edition, 8th printing, 2015. 645 p.

УДК 551.242.1

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЕЛИЧИНЫ ДЕФОРМАЦИИ ПО ДАННЫМ О СКОРОСТЯХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПУНКТОВ ГНСС

А.О. Агибалов^{1,2}, В.А. Зайцев², Н.Г. Кошевой^{2,1}, Л.В. Панина², А.А. Сенцов¹

¹ИФЗ РАН, Москва, Россия

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Цель работы — в доступной для широкого круга читателей форме, прежде всего, студентов географических и геологических специальностей, изложить основы методики расчета величины деформации (ϵ) по данным о скоростях перемещений пунктов ГНСС. Актуальность поставленной задачи обусловлена тем, что в настоящее время в разных публикациях рассмотрены алгоритмы определения ϵ , однако в большинстве случаев авторы не анализируют технические аспекты вычислений. Из-за этого составление схемы величины деформации нередко вызывает определенные методические трудности. В нашей статье показано, как рассчитать значения ϵ без использования узкоспециализированного программного обеспечения.

В качестве исходных данных служит информация о расположении пунктов ГНСС и скоростях их перемещений в широтном и меридиональном направлениях. Общепринятым является построение расчетной сетки методом триангуляции Делоне. Эта процедура может быть выполнена в AutoCAD [Маркович, 2019], Generic Mapping Tools [Зубович, Мухамедиев, 2010], в наиболее простых случаях при незначительном количестве станций ГНСС — в размещенной на сайте <http://paulbourke.net/papers/triangulate/> программе, разработанной Ф. Гринером в среде Visual Basic. Эти программные продукты позволяют построить сетку с ячейками треугольной формы, в узлах которой находятся пункты ГНСС (рис. 1). Существуют разные способы оценки величины ϵ в пределах треугольников, например [Бабешко и др., 2016]. На наш взгляд, наиболее простым является расчет: $\epsilon = \frac{S_2 - S_1}{S_1}$, где S_1 — площадь треугольника (m^2), S_2 — площадь треугольника с учетом смещения его вершин за 1 год. Он реализуется с помощью стандартных инструментов программы ArcGis. Для этого в нее загружаются 2 точечных shp-файла: пункты ГНСС без учета их смещений (с координатами X, Y) и пункты ГНСС с координатами X_1, Y_1 , рассчитанные как $X + \Delta x$ и $Y + \Delta y$, где Δx и Δy — приращения координат по осям абсцисс и ординат, соответственно. Отметим, что точечные shp-файлы должны быть спроецированы в метрической проекции, например, WGS_1984_World_Mercator. Координаты X, Y

рассчитываются путем добавления в атрибутивную таблицу двух столбцов (тип Double) с помощью опции Calculate Geometry.

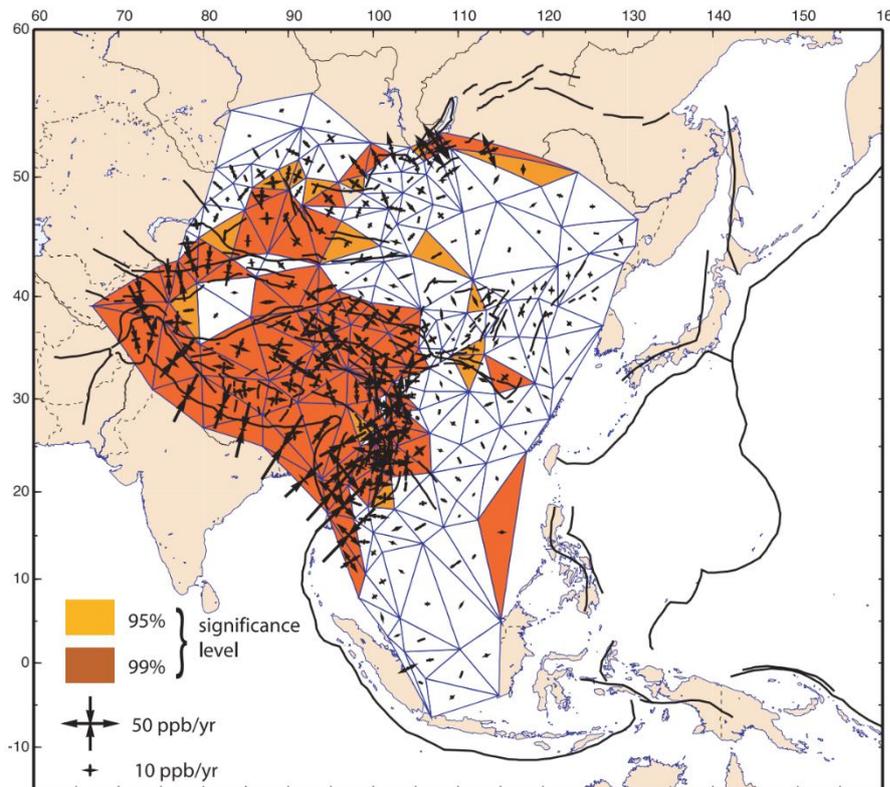


Рис. 1. Пример расчетной сетки, построенной методом триангуляции Делоне [Calais et al., 2006]

После этого вычисляются координаты X_1 , Y_1 , и создается новый shp-файл. Построение триангуляционной сетки для обоих файлов осуществляется вручную путем создания соответствующих полигонов. Принципиально важно, чтобы их вершины имели координаты X , Y и X_1 , Y_1 поэтому в ре-режиме редактирования вершины треугольников должны быть «притянуты» к нужным точкам. Определение S_1 и S_2 выполняется с помощью опции Calculate Geometry — Area. Применить формулу расчета ϵ удобно в MS Excel, открыв в нем dbf-файлы и ранжировав в них величины S_1 и S_2 по возрастанию. Поскольку в ходе деформации за короткий временной интервал площади треугольников изменяются незначительно, можно из значений столбца S_2 вычесть все значения S_1 , разделив полученный результат на столбец S_1 . Интерполяцию величин ϵ по площади проводят с помощью опции Features to points, позволяющей создать точечный shp-файл, элементы которого расположены в центрах треугольников, а затем применяют один из стандартных алгоритмов интерполяции (Spline, Kriging, IDW).

Одна из интересных задач при анализе перемещений пунктов ГНСС заключается в реконструкции ориентировок осей удлинения и укорочения расчетных треугольников. Она

решается средствами MS Excel по формулам, приведенным в статье [Бабешко и др., 2016]. Обозначим координаты вершин каждого треугольника Делоне x_i, y_i ; приращения координат в меридиональном направлении за 1 год — v_i , в широтном — u_i . Вычисление азимута простирания одной из главных осей деформации (θ) осуществляется решением матричного уравнения $Az = d$, где

$$A \equiv \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 1 \end{bmatrix}, z \equiv \begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \\ c_1 \\ a_2 \\ b_2 \\ c_2 \end{bmatrix}, d \equiv \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix}$$

Соответственно, $z = A^{-1} \times d$. Построение обратной матрицы осуществляется с помощью функции «МОБР», умножение матриц — «МУМНОЖ» (см., напр., <https://www.youtube.com/watch?v=bKhDYCbacIQ>). Угол θ вычисляется с помощью функций «ATAN» и «ГРАДУСЫ» как

$$\theta = \text{ГРАДУСЫ} \left(\text{ATAN} \frac{(a_2 + b_1)}{(a_1 - b_2)} \right)$$

Из-за того, что в статье [Бабешко и др., 2016] не предложен формальный критерий выбора θ как азимута простирания оси удлинения или укорочения, целесообразно рассчитать также деформации длин отрезков, соединяющих соседние пункты ГНСС, используя формулу: $\varepsilon = \frac{L_2 - L_1}{L_1}$, где L_1 — расстояние между станциями (м), L_2 — расстояние между станциями с учетом их смещения за 1 год. Расстояние (L) между станциями рассчитывается как длина отрезков на плоскости по формуле $L = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$, где x_1, y_1 — координаты начала отрезка, а x_2, y_2 — координату его конца. Пример таких расчетов и геологическая интерпретация полученных результатов для территории Северного Приладожья приведены в [Агибалов и др., 2020].

При значительных расстояниях между пунктами ГНСС, не позволяющих получить результаты желаемой точности, имеет смысл увеличить количество расчетных треугольников по методике [Зубович, Мухамедиев, 2010]. Суть метода заключается в том, что каждый четырехугольник, образованной парой смежных треугольников Делоне, разбивается диагональю на альтернативные треугольники (рис. 2).

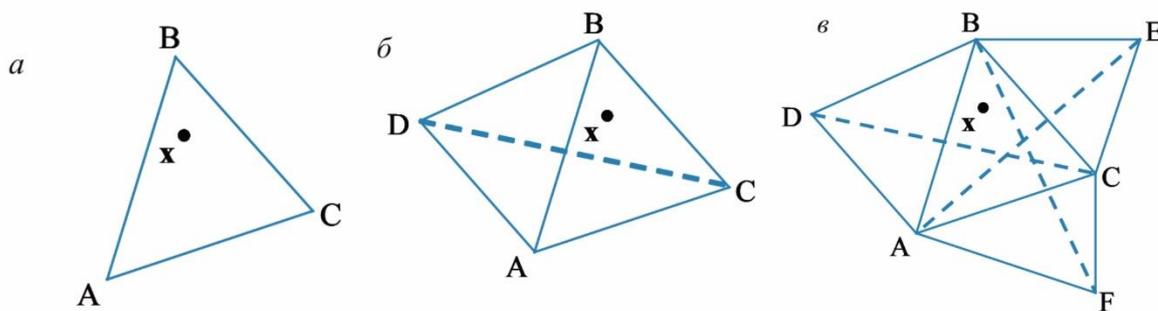


Рис. 2. Процедура деления четырехугольника на альтернативные треугольники
[Зубович, Мухамедиев, 2010]

Однако в этом случае процедура интерполяции значений ε по площади, описанная выше, представляется некорректной в связи с тем, что площади треугольников значительно различаются. На наш взгляд, удобный способ интерполяции заключается в разбиении изучаемой области по принципу мозаики Вороного таким образом, что в центре каждого многоугольника расположен пункт ГНСС. Это разбиение проводится в программе GlobalMapper, в которую загружаются точки, соответствующие пунктам ГНСС. В меню Analysis указывается Create Voronoi / Thiessen Diagram from Point Features. Затем в программе ArcGis полигональный shp-файл, состоящий из множества треугольников, конвертируется в растр, растр — в точки. Каждому многоугольнику — элементу мозаики Вороного — присваивается среднее или медианное (при распределении, отличном от нормального) значение из точечной темы. Автоматизированный анализ характера распределения удобно осуществлять путем расчета критерия Колмогорова-Смирнова в SPSS Statistics.

Таким образом, анализ данных ГНСС позволяет получить значимые для оценки современного напряженно-деформированного состояния характеристики и может быть выполнен без применения сложных математических вычислений и узкоспециализированного программного обеспечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агibalов А.О., Зайцев В.А., Сенцов А.А. Выделение активных докембрийских морфоструктур Северного Приладожья по комплексу геолого-геоморфологических данных // Вест. Моск. Ун-та. Серия 4. Геология. 2020. № 4. С. 64–70.

Бабешко В.А., Калинин В.В., Шестопалов В.Л., Шереметьев В.М. Технологии геодинамического мониторинга района транспортного перехода через Керченский пролив // Наука Юга России (Вестник Южного научного центра). 2016. Т. 12. № 1. С. 22–31.

Зубович А.В., Мухамедиев Ш.А. Метод наложенных триангуляций для вычисления градиента скорости горизонтальных движений: приложение к Центрально-Азиатской GPS-сети // Геодинамика и тектонофизика. 2010. Т. 1. № 2. С. 169–185.

Маркович К.И. Влияние конфигурации конечных элементов на точность определения компонентов деформации // Вестник СГУГиТ. 2019. Т. 24. № 3. С. 37–51.

Calais E., Dong L., Wang M., Shen Z., Vergnolle M. Continental deformation in Asia from a combined GPS solution // Geophys. Res. Letters. 2006. V. 33. L24319.

УДК 374.1

**ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ КАБИНЕТА "ПОЛЕВАЯ ГЕОЛОГИЯ" В РАМКАХ
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ В МГУ ИМЕНИ М.В.
ЛОМОНОСОВА В 2021 ГОДУ**

**А.О. Агибалов^{1,2}, А.М. Фетисова^{2,1}, Т.Э. Багдасарян², Е.Д. Егошина², А.А.
Елисеев², Н.С. Калинина², Н.И. Косевич², И.Е. Лебедев^{1,2}, М.А. Максимова², М.В.
Маркевич², С.Д. Муравьева², М.С. Мышенкова², С.А. Фурсова²**

¹ИФЗ РАН, Москва, Россия

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Введение. Традиционно на геологическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова в начале февраля проходит ежегодная открытая геологическая олимпиада для учащихся 1–11 классов средних школ. В рамках этого учебного мероприятия кафедра динамической геологии организует кабинет «Полевая геология», в работе которого принимают участие сотрудники МГУ и ИФЗ РАН, выпускники, студенты и аспиранты геологического факультета. Олимпиада направлена на популяризацию знаний в области наук о Земле, цель организации кабинета — создание психолого-педагогических условий, благоприятных для развития познавательного интереса к полевым геолого-географическим исследованиям. Его деятельность связана с решением следующих педагогических задач: 1) актуализации знаний, умений и навыков учащихся, полученных на уроках географии, биологии, математики в школе, а также в ходе различных экспедиций, занятий в геологических кружках, на мероприятиях геологической направленности; 2) развития интеллектуальных и творческих способностей, личностных качеств — инициативности, самостоятельности, любознательности, умения преодолевать психологическую нагрузку при работе в новой обстановке, правильно воспринимать нестандартные задания повышенной степени сложности; 3) созданием возможности получения информации о специфике полевых наблюдений, значимой для выбора будущей профессии; 4) повышения педагогической квалификации организаторов олимпиады.

Анализ содержания заданий и методического подхода к оцениванию знаний. В целом олимпиада проводится в 2 потока (геологический и палеонтологический) и состоит из 2 этапов — отборочного и заключительного. Последний включает теоретический (письменный) и практический (устный) туры. Участники практического тура должны пройти через соответствующие определённому потоку кабинеты (пять по собственному выбору для геологического потока и все для палеонтологического) (таблица).

*Таблица. Перечень кабинетов, которые предлагается посетить участникам
практического тура геологической олимпиады*

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТОК	ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТОК
Геология экзогенных процессов	Систематика беспозвоночных
Геология эндогенных процессов	Систематика позвоночных
Геологическая карта	Определение беспозвоночных
Минералогия	Определение позвоночных
Кристаллография и рост кристаллов	Палеонтологический рисунок
Палеонтология	Терминология
Полевая геология	Латинские названия
Полезные ископаемые	Палеоэкология
Инженерная и экологическая геология	Стратиграфия
Собственное научное творчество (только для учащихся 6–11 классов)	

В нашем кабинете каждому участнику предлагается выполнить 3–4 задания, при составлении которых учтены возрастные особенности учащихся, разный уровень их подготовки. Разработаны 4 варианта заданий для учеников 1–5, 6–7, 8–9 и 10–11 классов.

Каждый вариант содержит 1–2 вопроса, посильные подавляющему большинству участников и связанные с техникой безопасности. Они значимы не только для того, чтобы показать необходимость соблюдения последней, но и для того, чтобы избегать ситуаций, в которых жюри вынуждены ставить ученикам нулевые баллы. На наш взгляд, подобная практика обоснована, поскольку для современного школьника важно чувствовать себя успешным и компетентным: так, в работе Т.О. Гордеевой [2010] показано, что лидирующим фактором в 6–11 классах, мотивирующим к учебной деятельности, является стремление получать хорошие оценки. Кроме того, переход на высшие, согласно классификации А. Маслоу, уровни потребностей (познание, творчество), без которых невозможно формирование исследователя как личности, требует удовлетворения более «низких» нужд, в том числе потребностей в уважении и признании, поэтому формирование комфортного для учеников психологического климата во время олимпиады является приоритетным.

На более высоком уровне сложности находятся задания, выполнение которых требует практического применения знаний и навыков, полученных на уроках географии, биологии,

математики. Например, для решения некоторых задач нужно рассчитать время, необходимое геологу для достижения пункта назначения, вычислить истинную мощность (толщину) пласта, нарисовать схему геологического маршрута по его описанию. Освоение базовых элементов географической культуры невозможно без навыков использования топографических карт, поэтому один из вопросов, предназначенных для учеников 1–5, 6–7 и 8–9 классов, предполагает работу с ними.

Для ответа на самые трудные вопросы (третий уровень сложности) требуются специальные знания о формах залегания стратифицированных образований и интрузивных тел, названиях различных узлов и областей их применения. Наибольшие затруднения у учеников 10–11 классов вызывает, как правило, развернутое геологическое описание фотографии выходов горных пород на дневную поверхность или поиск ошибок в описании маршрута в полевом дневнике. Не все учащиеся в необходимой для получения высоких баллов мере владеют умениями самостоятельного системного анализа, ясного и логически последовательного изложения геологической информации. Возможной причиной является преобладание объяснительно-иллюстративного и репродуктивного методов над частично-поисковым и исследовательским в процессе преподавания, о чём свидетельствует обзор составленных разными авторами поурочных планов к учебникам географии. В 2021 году в перечень олимпиадных вопросов была включена практическая задача по определению истинной мощности пласта на основании данных об его угле падения, видимой мощности пласта и угле наклона склона, на котором обнажается этот пласт. Решение данной задачи оказалось трудным для учеников 10–11 классов.

Полученный одним из авторов статьи — А.О. Агибаловым — опыт проведения вводных занятий по географии показал, что ученики 8 класса испытывают затруднения при ответе на вопрос о том, для чего необходимо изучать этот предмет. Приведённый пример показывает, что предложенный основоположником педагогики Нового времени — Я.А. Коменским — дидактический принцип сознательности обучения, в ряде случаев утрачен в сложившейся практике, и свидетельствует о важности практической направленности заданий геологической олимпиады. Предлагаемые участникам вопросы о правилах оказания первой доврачебной помощи в полевых условиях, ориентировании на местности, задачах геологических исследований позволяют на конкретных примерах показать прикладное значение дисциплин геолого-географического цикла. Согласно [Таможняя и др., 2018], формирование исследовательского типа мышления является одной из задач школы. В рамках работы кабинета «Полевая геология» перед учащимися не ставятся сложные исследовательские проблемы, однако наличие требующих развернутого ответа заданий,

возможность задавать уточняющие вопросы позволяет рассматривать разные аспекты определенных процессов, например, особенностей организации полевых работ в различных физико-географических условиях, а также анализировать причинно-следственные связи.

Важное достоинство проведения олимпиады в устной форме заключается в том, что в ходе беседы школьники не только отвечают на вопросы, но и получают новые знания, т. е. работа кабинета «Полевая геология» направлена не только на контроль знаний, но и на обучение и развитие познавательной мотивации. К сожалению, распространенная в средней и высшей школе практика контроля как «механическая» процедура выставления оценок является существенной дидактической ошибкой: как отмечают В.Д. Сухоруков и В.Г. Суслев [2018], главные функции диагностики процесса обучения — обучающая и развивающая, «связанные с необходимостью обучения <...> логическому мышлению, развитием воображения, внимания и других психолого-педагогических составляющих познания». Беседа с участником олимпиады проводится одним из членов жюри, отвечающим за работу со школьниками данной возрастной группы. За правильное выполнение каждого задания начисляются определенные баллы, количество которых зависит от его сложности, максимально возможная общая сумма баллов — 10.

Особенности работы кабинета «Полевая геология» в дистанционном формате. В связи с распространением новой коронавирусной инфекции в 2021 году работа кабинета «Полевая геология» впервые проводилась в формате zoom-конференции, что стало причиной уменьшения количества участников и обусловило необходимость изменений в организационно-технических аспектах проведения олимпиады и содержания заданий. На наш взгляд, уменьшение количества участников в этом году является несколько неожиданным следствием введения дистанционного формата, предполагающего возможность школьникам из разных городов присоединиться к zoom-конференции, избежав финансовых и временных затрат на проезд в Московский университет. В организационно-техническом отношении потребовалось привлечение магистрантов кафедры динамической геологии в качестве модераторов, распределявших участников по разным сессионным залам, в каждом из которых проходила устная беседа с одним из членов жюри. При этом тексты заданий выводились на экран компьютера, время подготовки было сокращено до нескольких минут, однако, согласно наблюдениям некоторых авторов статьи (А.М. Фетисовой, А.О. Агибалова), не отмечалось заметного ухудшения качества ответов на вопросы. Традиционно на олимпиаде предлагались практические задачи, направленные на закрепление навыков ориентирования на местности с помощью компаса, вязания узлов, измерения элементов залегания поверхностей, описания горных пород. В этом году мы были вынуждены заменить их: например, школьники

ориентировались по карте, показанной на экране компьютера, определяли названия различных узлов и давали геологическое описание разрезов по фотографиям. В целом можно отметить, что новый опыт проведения олимпиады оказался успешным. Вероятно, целесообразно в дальнейшем рассмотреть возможность заочного участия в ней для школьников, проживающих далеко от Москвы.

Познавательный интерес школьников к полевым геологическим исследованиям — основной показатель эффективности работы кабинета «Полевая геология». Одной из особенностей рассматриваемой геологической олимпиады является то, что участники, получившие большое количество баллов, не получают льготных возможностей поступления в МГУ. С одной стороны, выявление и поддержка наиболее способных учащихся нередко рассматривается в качестве актуальной педагогической задачи при организации подобных мероприятий [Тхак, Филимонов, 2013]. В то же время эта олимпиада привлекает школьников, у которых преобладает внутренняя мотивация к познавательной деятельности: данная особенность субъектов обучения подчёркивает необычность сложившейся педагогической ситуации. Интересно, что некоторые ученики принимают участие в работе «Полевой геологии» на протяжении нескольких лет, а после окончания школы поступают на геологический факультет МГУ, в том числе на кафедру динамической геологии. В отдельных случаях участники имеют опыт по-настоящему исследовательской работы, проводимой в рамках внешкольного образования.

Заключение. Таким образом, нами накоплен представительный опыт организации кабинета «Полевая геология» на кафедре динамической геологии МГУ, позволивший успешно провести его работу в условиях дистанционного обучения в 2021 году. Главным критерием эффективности рассмотренной педагогической деятельности является познавательный интерес школьников к полевым геолого-географическим исследованиям, мотивирующий их неоднократно принимать участие в геологической олимпиаде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гордеева Т.О.* Мотивы учебной деятельности учащихся средних и старших классов современной массовой школы // Психология обучения. 2010. № 6. С. 17–32.
- Сухоруков В.Д., Суслов В.Г.* Методика обучения географии. М.: Юрайт, 2018. 359 с.
- Тхак К.С., Филимонов С.В.* XX Московская открытая олимпиада школьников по геологии состоялась! // Разведка и охрана недр. 2013. № 4. С. 72.
- Таможняя Е.А., Смирнова М.С., Душина И.В.* Методика обучения географии. М.: Юрайт, 2018. 321 с.

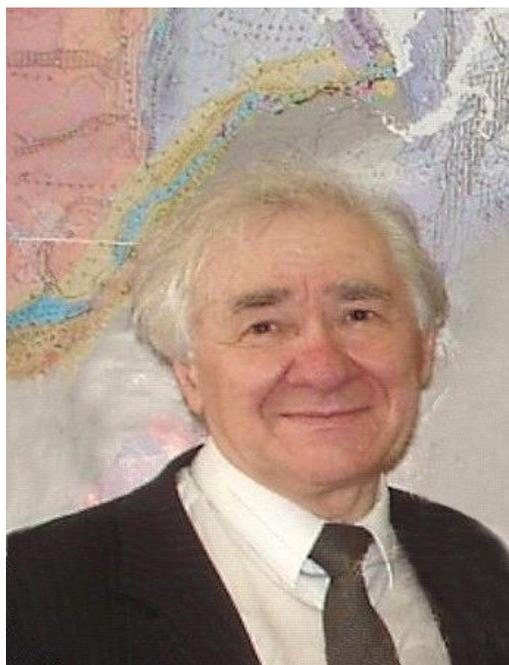
**О ТВОРЧЕСКОМ НАСЛЕДИИ ЛЕОНИДА МИХАЙЛОВИЧА
РАСЦВЕТАЕВА (11 НОЯБРЯ 1936 – 4 ЯНВАРЯ 2021)**

В.Г. Трифонов¹, М.Л. Копп¹, Н.Н. Курдин², А.И. Полетаев², Т.Ю. Тверитинова^{2,3}

¹ГИН РАН, Москва, Россия

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³ИФЗ РАН, Москва, Россия



Не стало Леонида Михайловича Расцветаева. Это печальное известие откликнулось болью у всех, кто знал нашего коллегу – выдающегося российского геолога-тектониста, талантливого педагога, многолетнего сотрудника кафедр динамической, исторической и региональной геологии, геологии России Геологического факультета МГУ, автора нашего журнала, человека, глубоко уважаемого преподавателями и студентами.

Л.М. Расцветаев родился в Москве. Его отец, Расцветаев Михаил Константинович – крупный ученый, эконом-географ и социолог – в течение нескольких десятилетий трудился в Совете по изучению производительных сил (СОПС) АН СССР, возглавляемом А.Е. Ферсманом, и вёл научно-исследовательские работы в экспедициях по Уралу, Якутии и Монголии под руководством и с непосредственным участием В.А. Обручева; мать – Софья Исаковна Шавердян – была высоко образованным и литературно одаренным человеком.

В 1958 году Леонид Михайлович с отличием окончил Геологический факультет МГУ и был распределён в Кавказскую экспедицию НИСа факультета, где проходил учебные производственные практики и зарекомендовал себя вполне сложившимся и перспективным специалистом. В 1961 году Л.М. Расцветаев по приглашению профессора Г.П. Горшкова

перешёл на работу в Копетдагскую экспедицию, созданную при кафедре динамической геологии для изучения тектоники и истории формирования структуры Копетдага в новейшее время. Первым научным руководителем этой экспедиции был проф. Г.П. Горшков, а с 1975 года её возглавил академик Е.Е. Милановский, поскольку экспедицию перевели на кафедру исторической и региональной геологии. Со временем фронт работ Копетдагской экспедиции значительно расширился, а сама она превратилась в серьёзную научно-исследовательскую группу по изучению динамики формирования новейшей структуры Юга бывшего СССР – Копетдага, Кавказа, Крыма и некоторых районов Средней Азии. Бессменным руководителем и организатором работ этой группы в течение всего времени её существования – с 1961 по 2008 г. – являлся Леонид Михайлович Расцветаев; она стала неотъемлемой частью, главным детищем всей его жизни. Проводя комплексные геологические и структурно-тектонические исследования, внедряя новые методики проведения специализированных работ, экспедиция одновременно служила базой для обеспечения производственных практик студентов и аспирантов. За эти годы под руководством Л.М. Расцветаева и его сотрудников было написано не менее двух десятков курсовых и дипломных работ, на её материалах защищено семь кандидатских диссертаций и огромное количество высоко оценённых научных отчетов, не потерявших своей актуальности до настоящего времени, а также опубликовано множество научных статей.

Леонид Михайлович был прекрасным полевым геологом и высоко эрудированным специалистом; при этом он постоянно следил за последними достижениями науки в самых разных направлениях геологии – от стратиграфии и палеонтологии, структурно-тектонических исследований структур разного масштаба и ранга до геофизических методов изучения глубинного строения Земли. Замечательное ассоциативное мышление в сочетании с необыкновенным творческим потенциалом позволяло Л.М. Расцветаеву выдвигать очень интересные, часто авангардные, идеи и предлагать новые, оригинальные решения поставленных задач. При этом он удивительным образом умел не просто нарисовать перспективу, но и заинтересовать, «зажечь» и коллег, и «спонсоров» – руководителей территориальных геологических Управлений (Туркменского, Таджикского, Северо-Кавказского и др.), от которых зависело финансирование его договорной экспедиции, убеждая их в том, что внедрение именно предлагаемых «специализированных» методов исследования принесёт огромную пользу региональным геологическим службам. Благодаря этой его способности, сочетающейся с несомненной практической значимостью и высоким качеством исследований, Копетдагско-Кавказская научно-исследовательская группа оказалась одной из тех немногих, которым удалось уцелеть при общем падении финансирования договорных

работ в начале 90-х годов. Благодаря усилиям Л.М. Расцветаева, эта группа просуществовала почти полвека. Помимо постоянных сотрудников экспедиции в течение шестидесяти полевых сезонов в ней поработало не менее трёхсот человек – студентов, коллекторов, временных рабочих. В этом коллективе сложилась удивительная атмосфера доброжелательности, понимания и взаимной поддержки; каждый, кто провёл в нём хотя бы один полевой сезон, до сих пор вспоминает то время с удовольствием и ностальгией. И в этом несомненная заслуга Леонида Михайловича Расцветаева.

Экспедиция стала частью той огромной и дружной семьи, которую Леонид Михайлович построил вместе с женой Адель Самуиловной Бирман – самым постоянным сотрудником экспедиции, преданным другом и единомышленником. Это был своеобразный семейный подряд, в полевых работах которого в разные годы принимали участие в качестве временных рабочих и коллекторов почти все члены большой «Расцветаевской семьи» – от его матери и сестёр до детей и внуков, один из которых – Степан Демидов – успешно продолжает семейную геологическую традицию.

В 1971 году Леонид Михайлович блестяще защитил кандидатскую диссертацию на тему «Новейшая тектоника Копетдага». В дальнейшем спектр его научных интересов стремительно расширялся.

Основное направление научной деятельности Л.М. Расцветаева, продолжавшейся 62 года, определяют работы по изучению неотектоники и новейшей геодинамики северного фланга Альпийско-Гималайского пояса на юге бывшего СССР, однако значение его исследований гораздо шире и затрагивает фундаментальные проблемы и методические основы структурной геологии, общей и региональной тектоники.

Научное наследие Л.М. Расцветаева можно условно разделить на три взаимосвязанных направления. Первое – изучение сдвигов, их соотношений с другими дизъюнктивными и складчатыми образованиями, приведшее к созданию нового раздела структурной геологии и тектонофизики – выявлению, диагностике и геодинамической интерпретации структурных парагенезов. Работы в этом направлении были начаты Л.М. Расцветаевым на Копетдаге, где он доказал правосдвиговую природу зоны Главного Копетдагского разлома [Расцветаев, 1966, 1969₁, 1972, 1973]. Развивая учение А.В. Лукьянова о структурных парагенезах, он показал генетическую связь сдвигов с разломами других кинематических типов и складчатыми деформациями (рис. 1).

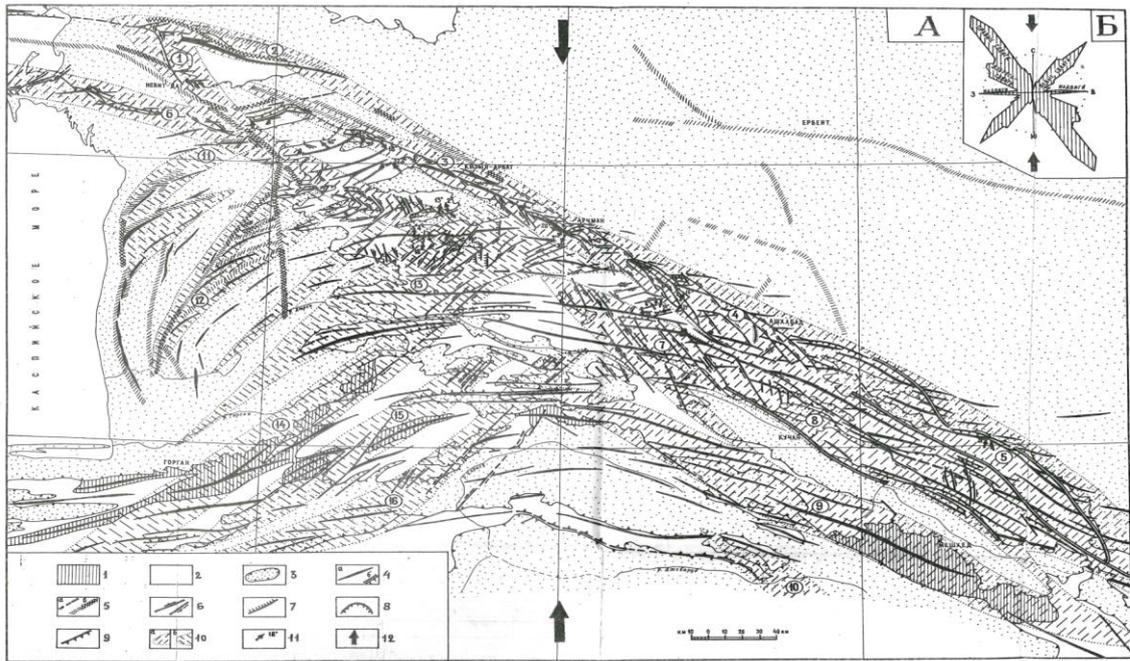


Рис. 1. Схема расположения основных разрывов и зон сдвиговых деформаций в альпийской структуре Туркмено-Хорасанских гор [Расцветаев, 1973]: 1 – выступы доальпийского основания ($PЄ-PZ$); 2 – область распространения альпийского геосинклинального комплекса (T_3-P_2); 3 – молассовые прогибы, выполненные альпийским орогенным комплексом (P_3-Q); 4 – оси главнейших антиклиналей (а) и флексуры (б); 5 – тектонические разрывы, устанавливаемые по геолого-геоморфологическим (а) и геофизическим (б) данным; 6 – сдвиги (стрелки указывают направление относительного перемещения крыльев); 7 – сбросы (штрихи в сторону опущенного крыла); 8 – покровы (точками показан фронт аллохтона); 9 – взбросы и надвиги (треугольники по падению сместителя); 10 – зоны концентрации правосдвиговых (а) и левосдвиговых (б) деформаций (цифры в кружках – наименования зон: 1 – Западно-Балханская, 2 – Северо-Балханская, 3, 4, 5 – западное, центральное и восточное звенья Северо-Копетдагской шовной зоны, 6 – Исак-Челекенская, 7 – Южно-Копетдагская, 8 – Северо-Кучанская, 9 – Аладаг-Биналудская, 10 – Восточно-Джагатайская зоны правосдвиговых деформаций; 11 – Камышлджа-Боядагская, 12 – Аладаг-Рустамкалинская, 13 – Шарлоук-Ходжакалинская, 14 – Восточно-Эльбурская, 15 – Шахруд-Курхудская, 16 – Сарполь-Пишкалинская зоны концентрации левосдвиговых деформаций); 11 – оси главных сжимающих напряжений σ_3 , установленные на основании полевого изучения сопряжённых трещин скола; 12 – предполагаемая ориентировка оси максимального сжатия Главного тектонического поля напряжений. Б – роза-диаграмма простирания разрывов Туркмено-Хорасанских гор (составлена по среднемасштабной геологической карте)

При этом впервые в СССР было обращено особое внимание на *активные разломы* разного кинематического типа, проявлявшие подвижность в голоцене [Копп и др., 1964; Расцветаев, Трифионов, 1965]. Они стали живыми моделями для интерпретации структурного рисунка новейших дизъюнктивов.

В дальнейшем Л.М. Расцветаев распространил подобный методический подход на изучение неотектоники Большого Кавказа [Расцветаев, 1987₁, 1989] и Крыма [Горшков, Расцветаев, 1969; Расцветаев, 1977; Расцветаев и др., 1997]. Им впервые была выделена Крымско-Копетдагская шовная зона, которая проходит через приосевую часть Большого Кавказа и Апшеронский порог и состоит из кулисного ряда правых сдвигов северо-западного простирания, сочетающихся с надвигами и взбросо-сдвигами широтного и запад-северо-западного направлений [Расцветаев, 1973; Расцветаев и др., 1991] (рис. 2).

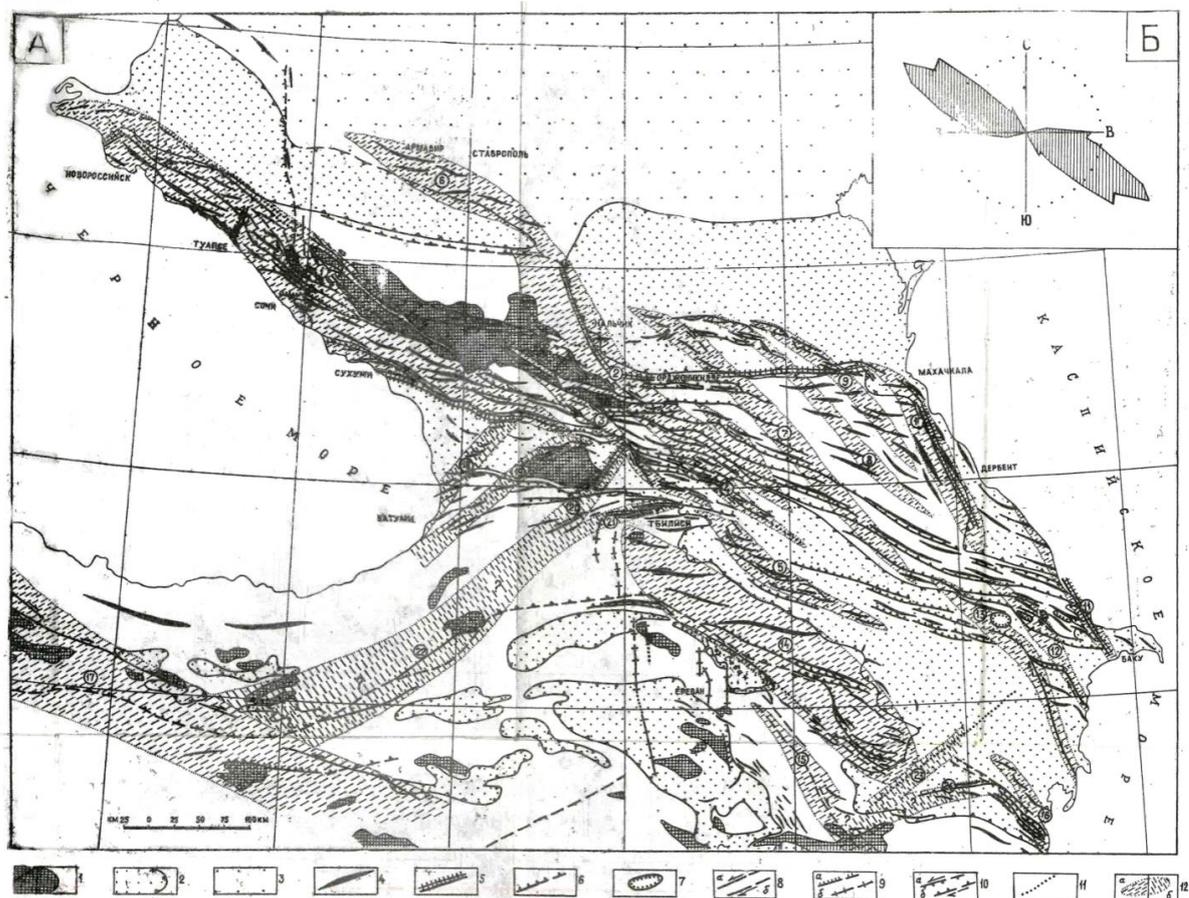


Рис. 2. Схема расположения основных разрывов и зон сдвиговых деформаций в альпийской структуре Кавказа [Расцветаев, 1973]: 1 – выступы доальпийского основания (P_С–P_Z); 2 – молассовые прогибы, выполненные альпийским орогенным комплексом пород (P_З–Q); 3 – чехол Скифской плиты; 4 – оси некоторых антиклиналей в породах альпийского геосинклинального и орогенного комплексов; 5 – флексуры и флексурно-складчатые зоны (штрихи по падению смыкающего крыла); 6–11 – геологические разрывы: 6 – взбросы и

надвиги (зубцы по падению плоскости смесителя); 7 – пологие надвиги и покровы; 8 – сдвиги (стрелки указывают направление относительного перемещения крыльев: а – установленные, б – предполагаемые); 9 – сбросы (а), раздвиги и зоны магматической проницаемости (б); 10 – взбросо–сдвиги и сдвиго–надвиги; 11 – разрывы, предполагаемые под покровом вышележащих пород; 12 – предполагаемые зоны концентрации правосдвиговых (а) и левосдвиговых (б) деформаций. Цифры в кружках – наименования зон: 1 – Западно-Кавказская, 2 – Центрально-Кавказская, 3 – Эльбрус-Карталинская; 4 – Казбек-Кахетинская, 5 – Сагурамо- Чатминская, 6 – Невинномысская, 7 – Терско-Агричайская, 8 – Чечено-Дагестанская, 9 – Гудермес- Гимринская, 10 – Восточно-Дагестанская, 11 – Сиазань-Бакинская, 12 – Лагич-Пирсагатская, 13 – Вандам-Ленгибизская, 14 – Сомхето-Карабахская, 15 – Севано-Зангезурская, 16 – Ленкорань- Астаринская, 17 – Северо-Анатолийская зона концентрации правосдвиговых деформаций; 18 – Мегрело-Гурийская, 19 – Аджаро-Рачинская, 20 – Цхинвали-Ахалцихская, 21 – Касти-Арджеванская, 22 – Чорох-Триалетская, 23 – Нижне-Араксинская, 24 – Западно-Талышская зона концентрации левосдвиговых деформаций. Б – Роза–диаграмма простираний основных разрывов Кавказа (составлена по мелкомасштабной геологической карте)

Его схема «Крупнейшие структуры литосферы и их соотношение с зонами глобального скалывания», опубликованная в известных научных изданиях «Проблемы глобальной корреляции геологических явлений» [1980] и «Роль сдвиговой тектоники в структуре литосфер Земли и планет Земной группы» [1997], со временем войдёт в учебники структурной геологии, геотектоники и геодинамики (рис. 3).

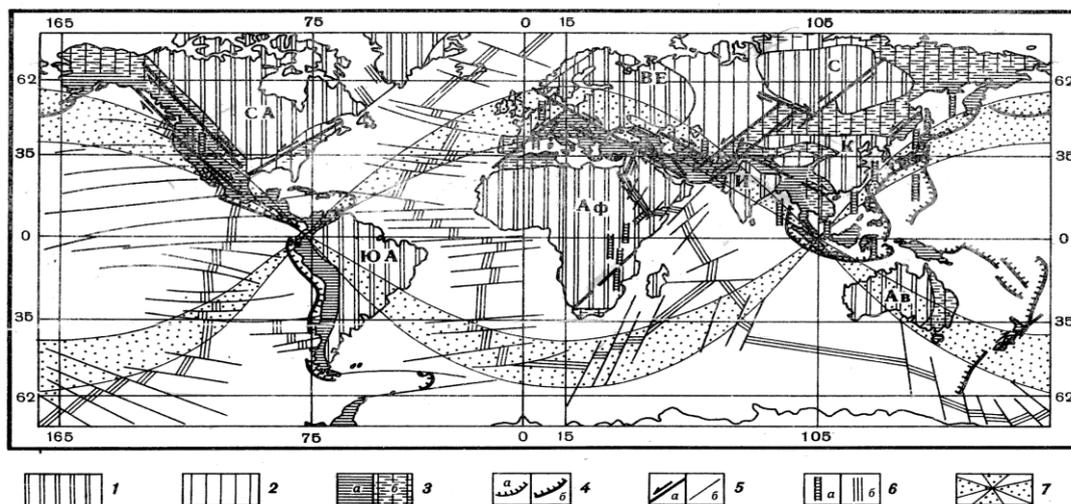


Рис. 3. Крупнейшие структуры литосферы и их соотношения с зонами глобального скалывания [Расцветаев, 1980]

Доальпийские ядра стабилизации континентов: 1 – древние платформы (Ав – Австралийская, Аф – Африканская, ВЕ – Восточно-Европейская, И – Индийская, К – Китайская, С – Сибирская, СА – Северо-Американская, ЮА – Южно-Американская); 2 – молодые платформы. Альпийские структуры: 3 – области проявления позднеальпийской складчатости на континентах (орогенные пояса): а – более интенсивной (в основном эпигеосинклинальной), б – менее интенсивной (в основном эпиплатформенной); 4 – 6 – главные системы позднеальпийских дислокаций на континентах и в переходных зонах (а) и в океанах (б): 4 – взбросы и надвиги, 5 – сдвиги и зоны сдвиговых деформаций, 6 – раздвиги и сбросо-грабеновые системы; 7 – зоны глобального скалывания (критические диагонали) и узлы их пересечения (главные центры деформации)

Л.М. Расцветаев внёс решающий вклад в создание методической и теоретической основы парагенетического анализа структурных форм как раздела структурной геологии и тектонофизики, позволяющего диагностировать дизъюнктивы и определять напряжённно-деформированное состояние земной коры, ответственное за их образование [Расцветаев, 1980, 1982, 1985, 1987₁, 1987₂]. Выполнена геодинамическая классификация сдвигов в зависимости от их парагенетических связей [Расцветаев, 1988]. Усовершенствованы методы статистического геолого-кинематического анализа малых дизъюнктивов [Расцветаев, Тверитинова, 1991]. Показано применение космических снимков для целей парагенетического анализа [Копп, Расцветаев, 1976].

Разработанные методы парагенетического анализа были применены для изучения как крупных структурных ансамблей, например, Большого Кавказа [Расцветаев и др., 1991], так и отдельных его участков. Такие детальные работы явились важным вкладом в познание региональной тектоники. Одним из участков, где проводился детальный парагенетический анализ разрывов и трещин, стал район Кавказских Минеральных Вод [Милановский и др., 1989; Расцветаев и др., 1987, 1999; Тверитинова и др., 2020]. Важные новые результаты были получены на СЗ-м Кавказе [Расцветаев и др., 2000, 2010; Маринин и др., 2008]. Они существенно увеличили знания о позднеальпийской структуре этого региона и истории её формирования. Были определены напряжённно-деформированное состояние и степень поперечного укорочения СЗ-го Кавказа.

Логическим развитием изучения сдвигов и парагенетического структурного анализа стало создание глобальной модели зон скалывания, секторов сжатия и растяжения, возникающих в результате вращения; Земля рассматривается в этой модели как эллипсоид вращения [Расцветаев, 1997₁; Расцветаев, Тверитинова, 2015, 2016] (рис.4).

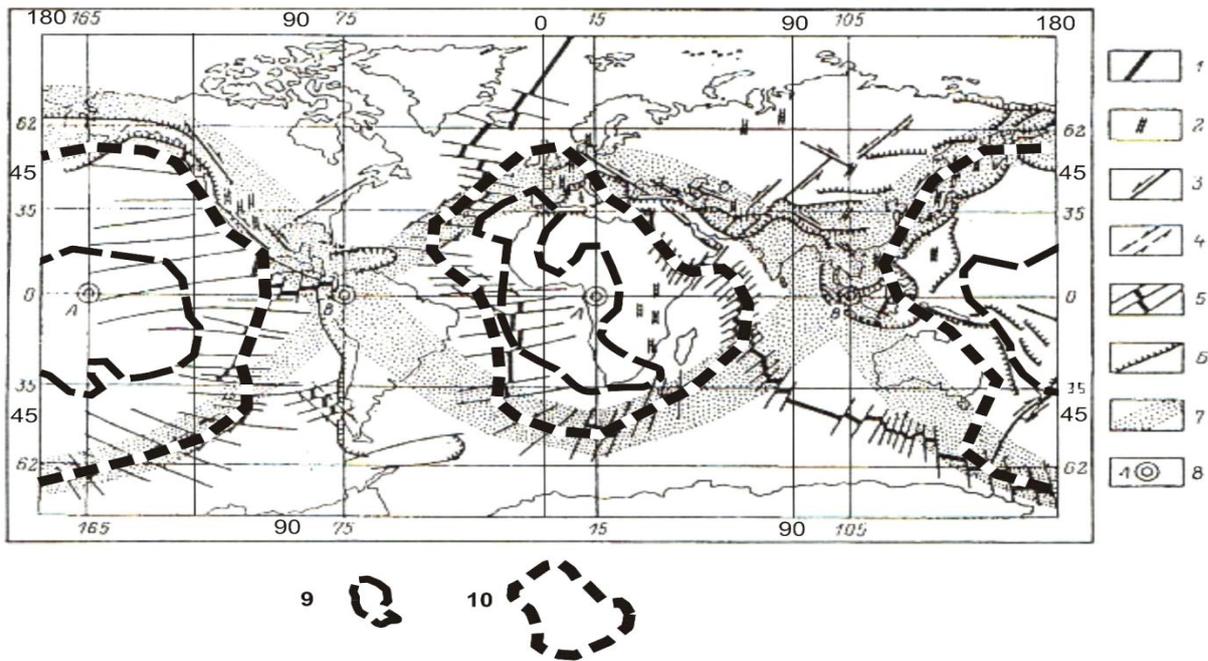


Рис. 4. Соотношение крупнейших разломных зон литосферы и глобальных зон скалывания [Расцветаев, 1991] с аномалиями скорости сейсмических волн в нижней и верхней мантии (по [Ritsema, 1999]; сильно упрощено). Условные обозначения: 1-2 – дизъюнктивные системы растяжения: рифтовые зоны океанов (1), материков и окраинных морей (2); 3-5 – сдвиговые системы разломов планетарного ранга: в континентальной литосфере (3) и в структурах океанического дна (4, 5); 6 – зоны сжатия: взбросо-надвиговые, поддвиговые и содвиговые дизъюнктивно-складчатые системы; 7 – области динамического влияния глобальных зон скалывания геоида на деформации земной коры; 8 – выходы на поверхность геоида большой (А) и малой (В) экваториальных осей земного эллипсоида; 9 – контуры Африканской и Тихоокеанской глобальных низкоскоростных аномалий нижней мантии (проекция на поверхность с глубины 2850 км); 10 – оси поясов низкоскоростных аномалий в верхней мантии (проекция на поверхность с глубины 500 км).

Вторым важным и принципиально новым направлением исследований Л.М. Расцветаева, особенно успешно развиваемым им в последние 20 лет и существенно раздвинувшим привычные горизонты структурной геологии, стало создание модели содвига (термин, предложенный Л.М. Расцветаевым, вошёл в словари и широко используется) как кинематического и геодинамического явления и вызываемых им структурных и вещественных преобразований более или менее крупного объёма горных пород литосферы под действием поперечного или близкого к нему горизонтального коллизионного сжатия [Расцветаев, 1997₂, 2002]. Вызываемые содвигом структурные преобразования проявляются в расплющивании

горных пород (например, в стилолитах на мезотектоническом уровне, а в более широком масштабе – в пластических деформациях), разнонаправленных сдвигах, обеспечивающих продольное удлинение деформируемого объема и его поперечное укорочение с компенсационным удлинением вверх и подъёмом земной поверхности при участии перемещений по надвигам и взбросам, а также формированием «корней гор». Л.М. Расцветаев [2012] рассматривает эти перемещения и деформации как форму тектонического течения горных масс. Содвиговая модель реализуется на разных масштабных уровнях. Она была разработана как для отдельных шовных зон Большого Кавказа [Расцветаев, Тверитинова, 1995; Расцветаев и др., 2000], так и для Большого Кавказа в целом [Расцветаев и др., 2011, 2012] (рис.5).

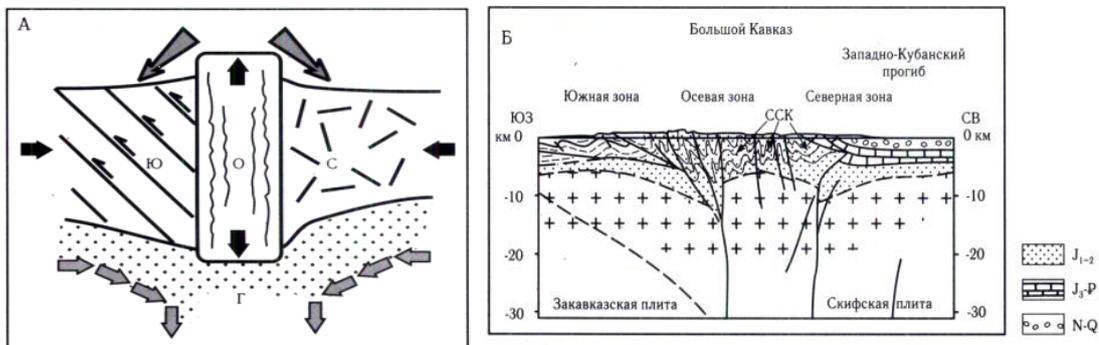


Рис. 5. Схема содвига (А) и принципиальная схема содвиговой структуры (Б) Большого Кавказа (по Л.М. Расцветаеву [2002], с упрощениями и небольшими изменениями).

Буквенные обозначения на А: О — Осевая зона с преобладанием структур содвига и поднятием горного рельефа; Ю — Южная краевая зона с большими деформациями, сколами надвигового типа и приповерхностными структурами выжимания — тектоническими покровами и продуктами их разрушения (олистостромовыми комплексами, молассой); С — Северная краевая зона с малыми деформациями, сколами сдвигового и взбросового типов, молассой; Г — глубинные структуры выжимания. На Б: структура складчатых комплексов (ССК) показана условно. Необходимо при этом иметь в виду, что складчатая структура ниже-среднеюрских комплексов осевой и северной зон имеет в основном киммерийский возраст

Рассматривалась и привлекла внимание тектонистов возможность применения этой модели к другим коллизионным орогенам, например, Пиренеям и Уралу.

Третье направление научных исследований Л.М. Расцветаева, более традиционное, но крайне важное для понимания истории новейшего тектогенеза – изучение моласс как индикатора тектонического развития горно-складчатых систем. Эти исследования были

начаты и успешно проведены в Копетдаге [Расцветаев, 1969₂, 1972; Бирман, Расцветаев, 1967, 1969; Бирман и др., 1968; Копп, Расцветаев, 1969, 1972]. Была усовершенствована стратиграфия новейших моласс, показаны связь их размещения и изменения с развитием деформаций и горообразования, замещение морских верхнеплиоцен-четвертичных отложений Западного Копетдага континентальной молассой по мере разрастания горно-складчатого сооружения. Важным для изучения истории складкообразования на СЗ-м Кавказе стали свидетельства домайкопского возраста главной складчатости в эоцен-олигоценых олистостромах [Расцветаев, 1998]. Большое значение имели работы по структурно-стратиграфической корреляции этапов накопления и деформации моласс в южных районах бывшего СССР [Расцветаев, Щерба, 1980, 1987].

Л.М. Расцветаев был не только выдающимся учёным, но и талантливым педагогом, популярным у студентов и увлекавшим их своими познаниями. Он читал лекции и проводил практические занятия по курсам «Геология России и сопредельных стран», «Структурная геология», а также вёл собственный спецкурс «Некоторые специальные методы структурного анализа разрывных нарушений»; участвовал в проведении Крымской учебной практики и руководил производственными практиками студентов – старшекурсников в Средней Азии и на Кавказе. Будучи учеником таких замечательных учёных, как Г.Д. Аджирей, С.Л. Афанасьев, М.В. Гзовский, Г.П. Леонов, А.В. Лукьянов, Г.П. Горшков, Е.Е. Милановский, А.В. Пейве и В.Е. Хаин, он создал собственную структурно-геологическую школу, в которой в разное время участвовали такие исследователи, как А.С. Бирман, М.Л. Копп, Н.Н. Курдин, А.В. Маринин, М.С. Наумов, А.И. Полетаев, А.Л. Стром, Т.Ю. Тверитинова, А.Н. Тихонов и др. Главные особенности этой школы – первостепенное использование для анализа напряжённого состояния мезоструктурных стресс-индикаторов (зеркал скольжения, стилолитов, жил и т.п.) наряду с часто используемыми косвенными признаками смещения (например, морфологией стенок трещин или особенностями их взаимного простирания). Всё это позволяло существенно повысить достоверность результатов тектоно-динамического анализа. Научная деятельность Л.М. Расцветаева проходила в контакте с учёными близких направлений из ГИН РАН (М.Г. Леонов, Ю.Г. Леонов, А.В. Лукьянов, В.Г. Трифионов, И.Г. Щерба), ИФЗ РАН (О.И. Гущенко, Д.Н. Осокина, А.В. Михайлова, Ю.Л. Ребецкий, Л.А. Сим, А.В. Маринин), ВНИИГеофизика (В.А. Голубовский, Ю.К. Щукин), ВСЕГИНГЕО (Г.С. Вартамян), Институт геоэкологии РАН (С.А. Несмеянов), а также в тесном полевом и научно-исследовательском взаимодействии с ведущими геологами региональных Геологических Управлений Туркмении (Г.И. Амурский, А.Н. Давыдов, В.П. Калугин, В.Н. Крымус, Т.Р. Розыева) и Кавказа (В.И. Баранов, И.И. Греков, А.Б. Островский).

При всей увлеченности наукой и постоянной занятости, Л.М. Расцветаев был человеком разносторонних культурных потребностей: хорошо знал и любил литературу и историю; обожал, ценил и прекрасно ориентировался в классической музыке, которая сопровождала всю его жизнь: сестра и обе дочери – профессиональные музыканты, да и сам он в молодости играл на виолончели. Леонид Михайлович постоянно обсуждал сложные темы современного культурного процесса и до последних дней внимательнейшим образом следил за общественной жизнью и развитием событий в стране и в мире; живо интересовался и следил за судьбой своих бывших учеников и коллег, помогал им по мере сил советом или просто участием, любил общаться с коллегами и друзьями не только по рабочим вопросам, но и за праздничным столом, был душой компании, писал замечательные стихи, в любой ситуации сохранял бодрость духа и заряжал ею окружающих. Он Любил Жизнь и учил любить её во всех проявлениях!

Особо следует сказать об удивительном обаянии и душевном благородстве Леонида Михайловича (близкие друзья, как в молодости, так даже и теперь, продолжали его ласково называть Лёничкой). Несмотря на свой вполне твёрдый характер и постоянную занятость, он всегда находил время выслушать любого, кто к нему обращался, очень внимательно разобраться в деталях и вместе с ним подумать над возможным решением. Душевное благородство Леонида Михайловича заставляло «приподняться» каждого, кто с ним общался. От нас ушёл очень хороший человек, всегда готовый прийти на помощь и советом, и делом.

Скорбим и будем помнить.

А.С. Алексеев, Н.А. Божко, В.А. Голубовский, Н.М. Дубинина, Т.П. Иванова, С.Б. Кноблок, О.В. Кононов, Л.Ф. Копяевич, М.Л. Копп, Н.В. Короновский, Р.Н. Коришкова, М.Г. Леонов, Н.В. Макарова, Е.Н. Меланхолина, А.М. Никишин, В.Н. Пучков, Ю.Л. Ребецкий, С.Б. Розанов, М.А. Самотей, Л.А. Сим, Е.К. Сычевская, Ал.В. Тевелев, Е.М. Тесакова, В.Г. Трифонов, В.М. Трубихин, Г.Т. Ушатинская, П.В. Флоренский, М.А. Шишкин, Б.Т. Янин; Е.Ю. Барабошкин, Е.И. Блюмкин, Т.И. Голикова, А.И. Гуцин, В.А. Зайцев, Н.Н. Курдин, Д.А. Мамонтов, А.В. Маринин, М.С. Наумов, М.Ю. Никитин, А.И. Полетаев, В.Г. Симако, А.Л. Стром, Т.Ю. Тверитинова, Н.С. Фролова, М.В. Яшина

Важнейшие научные труды Л.М. Расцветаева

Расцветаев Л.М. Разрывы Копетдага и их связь со складчатой структурой // Геотектоника. 1966. № 3. С. 93–108.

Расцветаев Л.М. Опыт палеодинамического анализа Келатской антиклинали (Восточный Копет-Даг) // Новейшая тектоника, новейшие отложения и человек. М.: Изд-во МГУ, 1969₁, вып.2. С. 40–59.

Расцветаев Л.М. Основные черты строения молассовой формации Копет-Дага // Докл. АН СССР, 1969₂, т.186, №1. С. 162–165.

Расцветаев Л.М. Основные черты новейшей тектоники Копетдага // Новейшая тектоника, новейшие отложения и человек. М.: Изд-во МГУ, 1972, вып. 3. С. 35–70.

Расцветаев Л.М. Некоторые особенности позднеальпийской структуры орогенических областей юга СССР и тектонические напряжения новейшего времени // Новейшая тектоника, новейшие отложения и человек. М.: Изд-во МГУ, 1973, вып. 5. С. 57–107.

Расцветаев Л.М. Горный Крым и Северное Причерноморье // Разломы и горизонтальные движения горных сооружений СССР. М.: Наука, 1977. С. 95–107.

Расцветаев Л.М. Закономерный структурный рисунок земной поверхности и его динамическая интерпретация // Проблемы глобальной корреляции геологических явлений. М.: Наука, 1980. С. 145–197.

Расцветаев Л.М. Структурные рисунки трещиноватости и их геомеханическая интерпретация // Докл. АН СССР. 1982. Т. 267, № 4. С.904–909.

Расцветаев Л.М. Геодинамические условия формирования альпийской структуры Большого Кавказа // Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа. Матер. Всесоюз. конф. М.: Наука, 1987₁. С. 69–96.

Расцветаев Л.М. Некоторые общие модели дизъюнктивной тектонической деформации // Экспериментальная тектоника в теоретической и прикладной геологии. М.: Наука. 1985. С. 118–127.

Расцветаев Л.М. Парагенетический метод структурного анализа дизъюнктивных тектонических нарушений // Проблемы структурной геологии и физики тектонических процессов. М.: Наука, 1987₁. Ч. 2. С. 173–235.

Расцветаев Л.М. Выявление парагенетических семейств тектонических дизъюнктивов как метод палеогеомеханического анализа полей напряжений и деформаций земной коры // Поля напряжений и деформаций в земной коре. М.: Наука, 1987₂. С. 171–181.

Расцветаев Л.М. О трех механических разновидностях сдвиговых разрывов // Сдвиговые тектонические нарушения и их роль в образовании месторождений полезных ископаемых. Вып. 1. Л.: Горный ин-т, 1988. С. 27–29.

Расцветаев Л.М. Сдвиги и альпийская геодинамика Кавказского региона // Геодинамика Кавказа. М.: Наука, 1989. С. 106–111.

Расцветаев Л.М. Глобальные сдвиги и зоны скалывания планетных тел // Роль сдвиговой тектоники в структуре литосфер Земли и планет земной группы. СПб.: Наука, 1997₁. С. 547–559.

Расцветаев Л.М. Содвиговые парагенезы в ансамблях коллизионных структур // Структурные парагенезы и ансамбли. М.: ГЕОС, 1997₂. С. 106–113.

Расцветаев Л.М. О домайкопском возрасте главной складчатости и эоцено-олигоценых олистостромах Северо-Западного Кавказа // Бюлл. Моск. об-ва испыт. природы. Отд. геол. 1998. Т. 73, вып. 4. С. 70–71.

Расцветаев Л.М. Об определении параметров горизонтального сокращения литосферы, связанного с развитием глубинных содвиговых зон (к постановке задачи) // Материалы XXXIII тектонического совещания: Общие вопросы тектоники. Тектоника России. М.: ГЕОС, 2000. С. 417–420.

Расцветаев Л.М. О некоторых актуальных проблемах структурной геологии и тектонофизики // Тектонофизика сегодня. М.: ОИФЗ РАН, 2002. С. 333–373.

Расцветаев Л.М. Тектоническое течение горных масс и структуры содвигания // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. М.: ИФЗ РАН, 2012, Т. 1. С. 415–420.

В соавторстве:

Расцветаев Л.М., Бирман А.С., Курдин Н.Н., Тверитинова Т.Ю., Симако В.Г. Парагенетический анализ альпийских дизъюнктивов Минераловодского района // Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа. М.: Наука, 1987. С. 96–106.

Расцветаев Л.М., Бирман А.С., Тверитинова Т.Ю. Некоторые особенности распределения дизъюнктивной деформации в разных зонах Большого Кавказа // Экспериментальная тектоника и полевая тектонофизика. Киев: Наукова Думка, 1991. С. 211–217.

Расцветаев Л.М., Корсаков С.Г., Тверитинова Т.Ю., Семенуха И.Н., Бирман А.С., Маринин А.В. Геолого-структурные особенности и тектодинамические условия формирования Северо-Западного Кавказа // «Геология и минерально-сырьевая база Северного Кавказа». Ессентуки, 2000. С. 121–133.

Расцветаев Л.М., Курдин Н.Н., Маринин А.В., Тверитинова Т.Ю. Тектоническое течение горных масс в альпийской структуре Большого Кавказа // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. М.: ИФЗ РАН, 2012, Т. 1. С. 421–426.

Расцветаев Л.М., Курдин Н.Н., Тверитинова Т.Ю. О тектодинамических условиях формирования альпийской структуры Горного Крыма // Структурные парагенезы и их ансамбли. Материалы совещания. М.: ГЕОС, 1997. С. 142–144.

Расцветаев Л.М., Маринин А.В., Тверитинова Т.Ю. Позднеальпийские дизъюнктивные системы и геодинамика Западного Кавказа / Физика Земли. 2010. № 5. С. 31–40.

Расцветаев Л.М., Тверитинова Т.Ю. О выявлении некоторых параметров тектонической деформации по результатам статистического геолого-кинематического исследования малых дизъюнктивов // Экспериментальная тектоника и полевая тектонофизика. Киев: Наукова Думка, 1991. С. 204–211.

Расцветаев Л.М., Тверитинова Т.Ю. О содвиговой природе Тырныаузской шовной зоны // Основные проблемы геологического изучения и использования недр Северного Кавказа (Материалы VIII Юбилейной конференции по геологии и полезным ископаемым Северного Кавказа). Ессентуки, 1995. С. 281–283.

Расцветаев Л.М., Тверитинова Т.Ю. Вращение Земли и планетарные зоны скалывания, сжатия и растяжения // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. М.: ИФЗ РАН, 2016, Т. 2. С. 545–552.

Расцветаев Л.М., Тверитинова Т.Ю. Земля как эллипсоид деформаций // Система "Планета Земля": 200 лет Священному союзу. М.: ЛЕНАНД, 2015. С. 615–624.

Расцветаев Л.М., Тверитинова Т.Ю., Бирман А.С., Курдин Н.Н., Маринин А.В. Большой Кавказ: современная структура и альпийская геодинамика // Современное состояние наук о Земле. Матер. Международ. конф., посвященной памяти В.Е. Хаина. М.: Изд-во Геологического ф-та МГУ, 2011. С. 2240–2245.

Расцветаев Л.М., Тверитинова Т.Ю., Курдин Н.Н., Энна Н.Л., Корсаков С.Г. Расплющивание и тектоническое течение горных пород в осевых зонах Большого Кавказа // Общие вопросы тектоники. Тектоника России. Материалы XXXIII тектонического совещания. Москва: ГЕОС. 2000. С. 420–424.

Расцветаев Л.М., Трифионов В.Г. О сейсмостектонических разрывах Центрального Копетдага // Современные движения земной коры, № 2. Тарту, 1965. С. 183–191.

Расцветаев Л.М., Щерба И.Г. Структурно-стратиграфическая корреляция этапов накопления и деформации моласс (на примере юга Средней Азии) // Проблемы глобальной корреляции геологических явлений. М.: Наука, 1980. С. 111–133.

Расцветаев Л.М., Щерба И.Г. Геостратиграфические комплексы как основа расчленения и корреляции кайнозойских отложений юга СССР // Историческая геология: итоги и перспективы. М.: Изд.-во МГУ, 1987. С. 32–69.

Расцветаев Л.М., Энна Н.Л., Письменный А.Н., Курдин Н.Н., Тверитинова Т.Ю. Новейшая тектодинамика и дизъюнктивная структура Урух-Черекского сегмента Центрального

Кавказа // Проблемы геологии, полезных ископаемых и экологии юга России и Кавказа. Т. 1. Новочеркасск. 1999. С. 66–69.

Бирман А.С., Расцветаев Л.М. О схеме расчленения плиоценовых моласс Центрального и Гяурского Копет-дага // Вестн. МГУ. Сер. 4, Геол. 1967, № 6. С.52–56.

Бирман А.С., Расцветаев Л.М. Новые данные по стратиграфии неогеновых отложений Восточного Копетдага // Новейшая тектоника, новейшие отложения и человек. М.: Изд-во МГУ, 1969. С. 195–200.

Бирман А.С., Расцветаев Л.М., Розыева Т.Р. О находке морского миоцена на Гяурском Копет-Даге // Изв. АН ТССР. Сер. физ.-техн., хим. и геол. наук, 1968, № 1. С. 116–118.

Горшков Г.П., Расцветаев Л.М. О некоторых особенностях структуры Горного Крыма (в свете закона скалывающих напряжений) // IV Научная конференция Геологического факультета. М.: Изд-во МГУ, 1969. С. 75–78.

Копп М.Л., Расцветаев Л.М., Трифонов В.Г. Тектонические трещины, образовавшиеся при голоценовых землетрясениях Центрального Копетдага и его предгорий // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1964. № 7. С.59–69.

Копп М.Л., Расцветаев Л.М. О расчленении «надакчагыльских конгломератов» Западного Копет-Дага // Вестн. МГУ. Сер. 4, Геол. 1969. № 3. С. 80–87.

Копп М.Л., Расцветаев Л.М. О возрасте диагональных складок Западного Копетдага // Изв. Вузов. Геол. и разведка, 1972. № 11. С. 136–138.

Копп М.Л., Расцветаев Л.М. О линеаментах, выявленных по космическим снимкам восточной части альпийского пояса // Изв. Вузов. Геол. и разв. 1976. № 11. С. 26–35.

Леонов Ю.Г., Гуценко О.И., Копп М.Л., Расцветаев Л.М. Взаимосвязь озднекайнозойских напряжений и деформаций в Кавказском секторе альпийского пояса и в его северном платформенном обрамлении // Геотектоника. 2001. № 1. С. 36-59.

Маринин А.В., Расцветаев Л.М. Структурные парагенезы Северо-Западного Кавказа // Проблемы тектонофизики. М.: ИФЗ РАН, 2008. С. 191–224.

Милановский Е.Е., Расцветаев Л.М., Кухмазов С.У., Бирман А.С., Курдин Н.Н., Симако В.Г., Тверитинова Т.Ю. Новейшая геодинамика Эльбрусско-Минераловодской области Северного Кавказа // Геодинамика Кавказа. М.: Наука, 1989. С. 99–105.

Тверитинова Т.Ю., Курдин Н.Н., Расцветаев Л.М., Симако В.Г. Тектодинамический анализ разрывно-трещинных структур района г. Бештау (Северный Кавказ, район Кавказских Минеральных Вод) // Динамическая геология. Электронный научно-образовательный журнал. 2020. № 2. С. 24–72.

Стихи Л.М.Расцветаева

Геологи шутят

ИЗБРАННЫЕ ГЛАВЫ РОТАЦИОННОЙ ГЕОДИНАМИКИ

«...И всё-таки она вертится»

Г.Галилей

*« Земля постоянно вращается вокруг
своей оси»*

Из газет

«...Восстань, поэт! И виждь, и внемли!

Исполнишь волею моей

и, обходя моря и земли,

глаголом жги сердца людей!».

А.С.Пушкин

ТОМИМЫЙ жаждою, однажды я услышал в ночной тиши
«Стихами, прозой ли – неважно, открой компьютер и пиши»
Телепортация?! Едва ли!... Но вот что мне продиктовали:
«Восстань, геолог! Виждь и внемли! Глаголом жги сердца коллег!»
И я решил взглянуть на Землю как современный человек –
Через очки... Глобальных Сколов ...
И так, без долгих разговоров, оглядывая наш Геоид,
Я вижу в нём Стресс-Эллипсоид!
Как, разделенный на квадранты, он порождает плюм-гиганты,
Когда в квадрантах растяжения всеобщий дефицит давления
Снижает точку расплавления и провоцирует движение...
Овладели мною думы про рифты и суперплюмы,
Слэбы и астенолиты, про танцующие плиты...
Я надел очки на глобус, влез в космический автобус
И допрашивал природу про «мантийную погоду»...
Размышляя о вращении, я, в предчувствии решения,
Вывожу из тихой гавани и Долицкого, и Ravoni,
В «боевой порядок» строю и готовлю «пушки к бою»;

Подключаю к операции Эллипсоид Деформации,
И – поехала ротация:
Словно стрелы Артемиды, устремились вверх флюиды;
Побежали от давления все мантийные течения!
Наплевав на эволюцию, формируется субдукция;
Рой летучих компонентов наполняет континенты;
И, как плиты по экрану – разбежались океаны...
Литосферные расколы – эллипсоидные сколы –
делят Землю на квадранты...
И сквозь этот тарарам две колонны держат храм
«Городницкого атланты» –
Два глобальных суперплюма без сейсмического шума
Держат – всем на удивление – ось квадрантов растяжения
Самой лучшей из планет пятьдесят миллионов лет!
Здесь в пониженном давлении происходит выплавление
Легкоплавких компонентов и летучих элементов;
Выделяющийся газ из мантийных вязких масс
Мастерит астенолиты,
Создаёт тектоносферы; Разрушая литосферу,
раздвигает снизу плиты,
А из всех мантийных «дочек» бьёт фонтан «горячих точек»!...
Разобраться в ситуации невозможно без ротации:
всё вертелось и крутилось, а как складно получилось –
и конвекция на глобусе, и фантазии в автобусе...

*Козьма ПРУТКОВ – дед
(из ненаписанного)*

Исповедь старика

Вялость мышц, усталость воли и беззубие лица –
Вот какая нынче доля удалого молодца!
А душе моей, ей-Богу, нет еще и двадцати!
Мне бы – выйти на дорогу! Мне бы – поле перейти!
Мне до сути бы добраться, кое-что еще понять,
Мне бы смелости набраться, от Матфея написать!

Грех роптать: таскают ноги и ещё скрипит кровать.

Значит, поиски дороги можно смело продолжать!

2006 г. *Перевод ЛР.*

Осень

(листок из дневника)

Вот как-то вдруг – не понемногу –
Я постарел. Бастуют ноги,
Шатает, сполохи в глазах,
И – настроение не ах.
Но, боже мой – какая осень!
Какое золото вокруг!!
И жёлтый лист, и неба просинь,
И солнца северного круг,
И отклик слов, и сердца стук,
И всё, что мы у Бога просим
И что потом с собой уносим
В Страну Заоблачных Услуг –
Всё для меня любовь и радость,
Как будто грежу наяву...
Всё это – счастье! Что мне старость?
Я мыслю – значит, я живу!
И жизнь божественно прекрасна!
И праздник – он всегда со мной!
Да: жизнь смертельна. И опасна.
Но – счастлив я своей судьбой...

4.11.2013

ЭПИТАФИЯ собственному 80-летию

Я добрался – как ни странно! –
До восьмидесяти лет.
Эпитафией пространной
Прожитому шлю привет!
Я познал все виды счастья,
Что Господь нам подарил:
Счастье Мысли, счастье Страсти,
Счастье Дружбы и Любви!
Счастье быть любимым сыном,
Братом, мужем и отцом;
Счастье просто быть любимым.
Обладать своим лицом...
Счастье быть самим собою,
Счастье жить своей судьбою!
Счастье дружбы и участия.
И любви всеобщей счастье;
Ясной мысли озаренье,
Точной фразы откровенье!...
Счастье думать, счастье знать,
Счастье делать и мечтать...
И пройдя восьмой десяток
Я скажу вам напрямик:
Я люблю земной порядок!
Я – счастливейший мужик!

11.11.2016

Омар Хайям, любовь и самолеты.

Мы на бреющем полете над планетою летим
Вместе с нами в самолёте – те, кто любит и любим.
Чтобы вас сильнее любили, чтобы вы добрее были,
чтобы вы себя забыли, чтобы чувства не остыли –
Не стесняйтесь: увлекайтесь, обольщайтесь, отдавайтесь!
Чем вы больше отдаете – тем свободнее в полете,

Тем богаче Вы живете!..
Я хочу напомнить вам, что сказал старик Хайям:
«что отдал – твоим осталось; что забрал – с тобой умрёт»!
Чтобы счастье состоялось – не стесняйтесь брать в полет
И любви очарованье, и попытку пониманья,
И надежду – что Пилот приведет свой Самолет
В ту страну – Страну Любви – куда жители Земли
Вас доставить не смогли...

5.07.2017

ЖИВУ СЕЙЧАС

*«...Что сказать мне о жизни? Что оказалась
длинной.*

Только с горем я чувствую солидарность.

Но пока мне рот не залепили глиной,

Из него раздаваться будет лишь благодарность.»

Иосиф Бродский

Мне 80 лет – по паспорту и факту.
Я прожил их без войн, инсультов и инфарктов.
А нынче у меня диагноз – БАС. И точка!
Смертельный приговор; но с небольшой отсрочкой...
И это значит, что сейчас никто не знает день и час,
Когда свершится приговор...Какое счастье и простор!
Теперь я вольный человек: мой приговор отложен!..
Не остановлен жизни бег и выбор мой несложен:
Пока отсрочка – будем жить, не торопить ухода;
И я готов благословить любое время года!
До той поры, «пока мне рот не залепили глиной»
Намерен я ещё пожить в кругу своих любимых...
Хочу осмысливать года, промчавшиеся мимо,
Чтобы понять: что – ерунда, а что – необходимо!
И мне так хочется шутить, пока еще есть голос!
И можно голову помыть, пока на ней есть волос!
И свежим воздухом дышать, пока владею грудью!

Читать, писать и рассуждать, не мучаясь занудью!
И сладко мне тебя любить, пока сжимают руки!
И говорить – ах, говорить! – пока исходят звуки...
И думать. Думать не спеша: о чём волнуется душа
И что ты хочешь на Земле оставить в память о себе?
Не знаем: как, когда уйдём?
Но будем жить, пока живём!..

17.07.2017

Как стать счастливым

Не брани подлунный мир и не жди, когда кумир,
Проявив к тебе участие, для тебя устроит Счастье.
Счастье можешь сделать сам: просто надо строить Храм –
Гармоничный Храм Любви... Господи, благослови!...

Утренняя молитва

У меня теперь заботы: что нас ждёт за поворотом?
Чей в конце туннеля свет?
И ещё: мне так уютно по Земле ходить беспутной!
И обжитое болото покидать так неохота!
Может, как пройдут года, ты вернёшь меня сюда?...



*Адель Самуиловна Бирман, Леонид Михайлович Расцветаев, их внук Степан Демидов –
палеонтолог*



ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ РОГОЖИН

(16 декабря 1946 – 6 апреля 2021)

6 апреля 2021 г. скоропостижно ушел из жизни Евгений Александрович Рогожин, заведующий VII отделения Института физики Земли, профессор, доктор геолого-минералогических наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации.

Евгений Александрович родился 16 декабря 1946 г. в Германии в семье военнослужащего. В 1971 г. он закончил Геологический факультет Московского Государственного университета. Среди его учителей были такие выдающиеся советские геологи как Д.П. Найдин, Г.П. Горшков, Е.Е. Милановский и другие. Е.А. Рогожин являлся одним из старейших сотрудников Института физики Земли. Колоссальный вклад в его становление внес В.В. Белоусов, учеником которого он был с 1971 г. Последнее обстоятельство предопределило как содержание его научных интересов, с самого начала связанных с фундаментальными вопросами геотектоники, так и с усвоенным здесь глубоким и взыскательным подходом к повседневной работе в науке.

Евгений Александрович первые годы своей работы в институте занимался изучением складчатости в орогенных областях Кавказа и Средней Азии. По результатам этих исследований он защитил кандидатскую, а в 1990 г. – докторскую диссертацию. Довольно рано он стал участвовать и в сейсмотектонических работах, которые со временем стали основным предметом его научных исследований. Первые его опыты в этом направлении связаны с геологическим обоснованием экспериментальных разработок, проводившихся в ИФЗ в семидесятые-восьмидесятые годы под руководством В.И. Мячкина. С 80-ых годов XX века он принимал участие в обследовании эпицентральных зон сильных землетрясений. В 1993 г. Евгений Александрович возглавил лабораторию сейсмотектоники ИФЗ РАН. В задачи лаборатории входили сейсмотектонические и палеосейсмологические исследования в

различных сейсмоактивных областях страны для оценки сейсмической опасности территории. Заслуженой Рогожина было внедрение широкого применения тренчинга наряду с традиционными методами в практике полевых работ, что оказалось эффективным средством для выявления следов древних землетрясений, что существенно дополняло сейсмическую историю регионов и имело непосредственное значение для определения повторяемости сильных сейсмических событий.

Евгений Александрович как своими личными исследованиями, так и организацией экспедиционных работ внес неоценимый вклад в изучение очаговых зон сильных землетрясений XX и XXI века. Среди них – Кумдагское, 1983 г., Бурунское, 1984 г., Спитакское, 1988 г., Зайсанское 1990 г. в Восточном Казахстане, Рачинское 1991 г. в Грузии, Шикотанское, 1994 г., Нефтегорского (Сахалин) 1995 г., Кроноцкое (Камчатка) 1997 г., Углегорское (Сахалин) 2000 г., Алтайское 2003 г., Олюторское (Корякия) 2006 г., Симуширские (Курильские острова) 2006 и 2007 гг., Тувинские 2011–2012 гг. и др. Уникальные результаты этих работ стали весомой составляющей современных представлений о строении своеобразных ключевых участков проявления новейшей геодинамики, а также способствовали совершенствованию актуальных представлений о сейсмической опасности страны.

Богатый эмпирический материал, полученный в процессе полевых исследований, широкая эрудиция, особый дар проникновения в особенности геологической среды и научная основательность, заложенная от природы и отшлифованная в годы работы под руководством В.В. Белоусова, привели его к ряду фундаментальных выводов по вопросам сейсмогенеза, изложенных в нескольких монографиях и ряде журнальных статей. Принципиальным научным выводом и достижением стало положение о сейсмическом очаге как долговременной геологической структуре, в которой время от времени происходит разрядка напряжений, порождающая землетрясения. В результатах исследований Е.А. Рогожина нашли отражение практически все вопросы сеймотектоники с учетом сейсмологических аспектов, вписанные в более общую картину современной геодинамики. Работы Е.А. Рогожина занимают достойное место в ряду исследований, определивших содержание новой эпохи в сеймотектонических исследованиях. Не будет преувеличением утверждать, что научные результаты Е.А.Рогожина способствовали обогащению сеймотектоники и ее становлению в сегодняшнем виде как актуальнейшего направления в современной геодинамике.

Огромный практический опыт и теоретическое осмысление материала сделали Е.А. Рогожина одним из ведущих сеймотектонистов страны. Одновременно Е.А. Рогожин как авторитетный сеймотектонист пользовался международной известностью и в этом качестве

возглавлял сеймотектоническую группу в российско-иранском проекте по оценке сейсмической опасности района строительства атомной станции «Бушер» в 1999–2003 гг. Он также был включен в международную экспедицию по ретроспективному обследованию (спустя 40 лет) сильнейшего Могодского землетрясения 1967 г. в Монголии. Многолетнее плодотворное сотрудничество связывало Е.А. Рогожина с китайскими и индийскими коллегами. В течение многих лет Е.А. Рогожин читал лекции по сеймотектонике на Геологическом факультете МГУ. Многие из его слушателей стали успешными сотрудниками его отдела в ИФЗ. А под его руководством защитили диссертации многие специалисты из различных регионов страны и зарубежья. Можно сказать, что ему удалось создать свою научную школу. В этом отношении он стал достойным продолжателем В.В. Белоусова.

Уход Евгения Александровича – невосполнимая потеря для науки и института и болезненная человеческая потеря для всех, работавших вместе с ним и просто знавших его. Он был талантливым ученым, блестящим организатором, но еще и добрым надежным другом, терпеливым и участливым к окружающим, наставником для молодых, мужественным человеком, до последнего дня не оставлявшим свой рабочий стол.



МИХАИЛ ГРИГОРЬЕВИЧ ЛОМИЗЕ

(21 сентября 1933 – 2 июля 2021)

2.07 2021 скоропостижно ушел из жизни Михаил Григорьевич Ломизе, профессор, доктор геолого-минералогических наук.

Михаил Григорьевич родился 21.09.1933 в Тбилиси. В 1956 г. окончил с отличием геологический факультет МГУ.

Вся научная жизнь Михаил Григорьевича Ломизе была связана с геологическим факультетом МГУ, с кафедрой динамической геологии, где Михаил Григорьевич проработал с 1956 по 2014 гг.

Научные интересы М.Г. Ломизе находились в области тектоники и геодинамики складчатых областей, а также развития континентальных окраин. В основе его исследований лежали результаты экспедиций на Кавказ, в Карпаты, Анды, Исландию, на Тянь-Шань и другие регионы. Он опубликовал более 160 научных работ, в том числе несколько монографий.

М.Г. Ломизе был одним из активных профессоров геологического факультета МГУ, он долгие годы читал лекции по геотектонике и по палеотектонике складчатых областей, был членом Ученого совета геологического факультета, членом диссертационных советов.

М.Г. Ломизе совместно с В.Е. Хаиным опубликовал фундаментальный учебник «Геотектоника с основами геодинамики».

Многие из его студентов стали успешными сотрудниками научных и учебных организаций. Под его руководством защитили диссертации специалисты из различных регионов нашей страны и зарубежья.

Деканат и сотрудники геологического факультета МГУ выражают глубокие соболезнования родным и близким Михаила Григорьевича.



Динамическая геология
Электронный научно-образовательный журнал 2020/2

Издательство «Перо»
109052, Москва, Нижегородская ул., д. 29-33, стр. 27, ком. 105
Тел.: (495) 973-72-28, 665-34-36
Подписано к использованию 30.09.2021.
Объем Мбайт. Электрон. текстовые данные. Заказ 862.