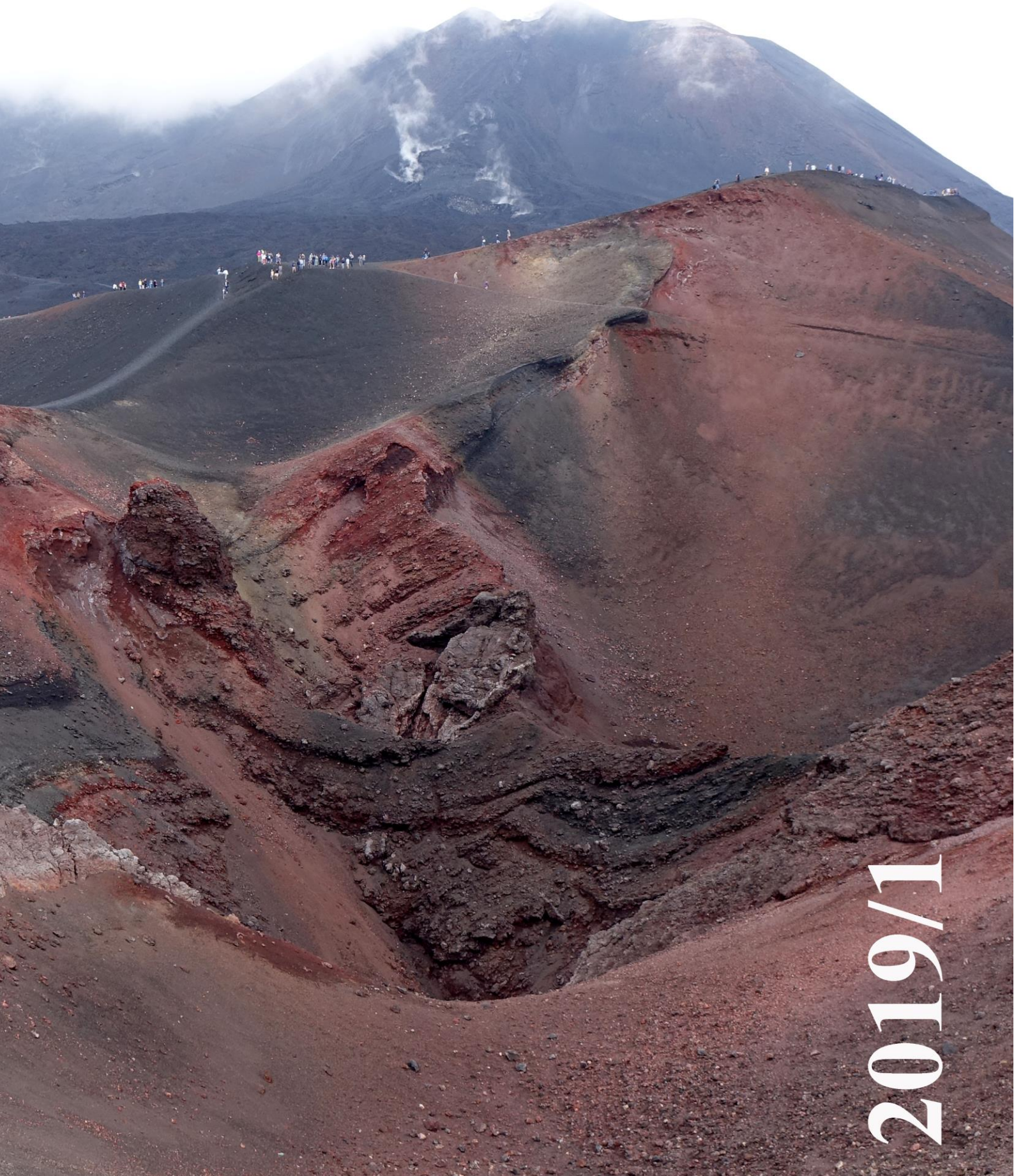
ДИНАМИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

электронный научно-образовательный журнал



2019/1

УДК 55
ББК 26.3я43
Д46

Д46 Динамическая геология. Электронный научно-образовательный журнал 2019/1 – Москва : Изд-во «Перо», 2019. – 124 с. Электрон. текстовые дан. (14,3 Мб).

ISBN 978-5-00122-958-2

Электронный адрес журнала
http://www.geodisaster.ru/index.php?page=nomera-zhurnalov-za-2019-god

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

Кафедра динамической геологии выпускает научно-образовательный журнал «Динамическая геология», в котором предполагается публиковать статьи, посвящённые различным вопросам динамической геологии и взаимодействию геосфер, как внутренних, так и внешних, так как все они влияют друг на друга, испытывают вращение и подвергаются воздействию Луны и Солнца. В последние годы появилось много работ, дополняющих основные идеи новой глобальной тектоники, которая произвела по существу революцию в геологии 50 лет назад. Но геология не может остановиться и существует много вопросов, ждущих своего решения. В журнале будут опубликованы новые факты, идеи и предположения, касающиеся различных аспектов динамической геологии.

УДК 55
ББК 26.3я43

ISBN 978-5-00122-958-2 © Авторы статей, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Научные статьи

Короновский Н.В. 50 лет новой глобальной тектонике – что дальше? **4-6**

Панина Л.В., Зайцев В.А. Влияние фундамента на формирования новейшей структуры Восточно-Европейской платформы в связи с флюидной проницаемостью и сейсмичностью. **7-28**

Фролова Н.С., Кара Т.В., Читалин А.Ф. Физическое моделирование сдвиговых зон различной сложности для выявления участков повышенной флюидопроницаемости. **29-47**

Полетаев А.И. Особые структурные формы (ОСФ) (линейные, клиновидные, узловые, кольцевые и ротационные). Статья первая. Линейные (линеаменты) и клиновидныеи структурные формы и их влияние на фильтрационные свойства геологической среды Восточно-Европейской платформы. **48-78**

Зайцев В.А., Панина Л.В. Оценка влияния современного поля напряжений на фильтрационные параметры классического нефтяного месторождения. **79-108**

Хроника событий

Панина Л.В., Зайцев В.А. 40 лет Чашниковской практике **109-115**

Литературная страничка кафедры динамической геологии

Белоусов В.В. **116-117**

Зилинг А.А. **118-119**

Борукаев Ч.М. **120-120**

Божко Н.А. **121-121**

Полетаев А.И. **122-123**

50 ЛЕТ НОВОЙ ГЛОБАЛЬНОЙ ТЕКТОНИКЕ – ЧТО ДАЛЬШЕ?

Короновский Н.В.
Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

> ***Динамическая геология*** *– отдел геологии, изучающий современные геологические процессы на земном шаре, их причины и следствия.*
>
> ***Словарь Брокгауза и Ефрона***

ВВЕДЕНИЕ

Кафедра динамической геологии выпускает научно-образовательный журнал «Динамическая геология» в котором предполагается публиковать статьи, посвящённые различным вопросам динамической геологии и взаимодействию геосфер, как внутренних, так и внешних, потому что все они влияют друг на друга, испытывают вращение и подвергаются воздействию Луны и Солнца. В последние годы появилось много работ, дополняющих основные идеи новой глобальной тектоники, которая произвела по существу революцию в геологии 50 лет назад. Но геология не может остановится и существует много вопросов, ждущих своего решения. Хотелось бы надеяться, что в журнале будут опубликованы новые факты, идеи и предположения, касающиеся различных аспектов динамической геологии.

НЕРЕШЕННЫЕ ВОПРОСЫ

Прошло более полувека с тех пор, как в геологии, в основном в геодинамике, произошла подлинная революция – возникла тектоника литосферных плит, которая во многом изменила наши представления о Земле и ее развитии. Но это не уменьшило количество остающихся нерешенных вопросов, наоборот, их стало больше. Сейчас ученые, занимающиеся различными аспектами нашей планеты пришли к понимаю того, что вся она представляет собой систему целого ряда геосфер, как внутренних, так и внешних, которые находятся в тесном взаимодействии друг с другом и подвергаются влиянию Луны, Солнца и других планет и тех планетезималей, которые еще остались в Солнечной системе после аккреции планет, но могут достигать Земли в виде метеоритов. Технический прогресс в последние полвека позволил геологам проникнуть не только в глубокие недра Земли посредством сейсмической томографии, погрузиться с обитаемыми подводными аппаратами в толщу вод океанов, но и заняться изучением Земли из космического пространства, а также исследовать атмосферу на всю ее мощность. Многочисленные оболочки Земли оказались намного сложнее, чем это

представлялось раньше, и теснее связанными между собой, способными вращаться и перемещаться по границам геосфер. Выяснилось, что влияние приливных сил Луны и Солнца сказывается на Земле, и наша планета как бы «потрескивает», что регистрируется режимом ее вращения и особенностями орбитального движения.

Кафедра динамической геологии, читая основополагающие фундаментальные учебные и специальные курсы студентам всех кафедр геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, обращает внимание как в педагогической, так и в научной работе на ряд нерешенных до конца вопросов, которые я хотел бы перечислить ниже.

1. Образование Земли как планеты?
2. Строение, состав и тепловой режим ранней Земли?
3. Энергия аккреции и гравитационная дифференциация Земли?
4. Энергетический баланс Земли и радиогенная энергия?
5. Выделение земного ядра на ранних стадиях эволюции Земли?
6. Образование внутреннего ядра и его отклики на приливные силы?
7. Энергия приливного торможения Земли?
8. Ходей и древнейшие породы?
9. Появление ранней сиалической коры?
10. Появление воды на Земле?
11. Начало действия тектонических плит?
12. Конвекция в мантии Земли?
13. Геология плюмов, их происхождение?
14. Взаимодействие внутренних и внешних геосфер Земли?
15. Земля и окружающий космос?
16. Оболочки Земли ведут себя не только автономно, но и взаимодействуют между собой?
17. Отдельные оболочки перемещаются вдоль своих границ?
18. Возможность крупномасштабных перемещений в мощной коре?
19. Движение литосферных плит и суперматерики?
20. 3900–2800 млн. лет – этап в развитии Земли?
21. Магнитосфера Земли, ее образование и развитие?
22. Палеомагнитный метод и его применение?
23. Проблема слоя “D’’ и его значение?
24. Обмен веществом на границе мантия – внешнее ядро?
25. Переходная зона в мантии (660 км) и ее влияние на стиль мантийной конвекции?

26. Формирование рельефа и неотектоники платформенных областей?
27. Орогенный магматизм и проблема игнимбритов?
28. Геология, тектоника и геодинамика Арктического региона России?
29. Новейшая геодинамика платформенных территорий?
30. Влияние современного напряжонного состояния на фильтрационно-ёмкостные свойства геологической среды?
31. Прогноз опасных геологических процессов?

Безусловно, это только часть вопросов, которые еще ждут своего объяснения, решения и получения новых данных. Но всеми ими кафедра занимается с той или иной полнотой. Научная работа и есть получение новых знаний.

УДК 551.432:551.24 (470.31)

РОЛЬ ФУНДАМЕНТА В ФОРМИРОВАНИИ НОВЕЙШЕЙ СТРУКТУРЫ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ.

Панина Л.В., Зайцев В.А.
Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ

На кафедре динамической геологии, начиная с 2016 года, проводятся исследования по созданию методики оценки вторичной проницаемости с помощью новейшей геодинамики, а также применение этой технологии для прогноза нефтегазоносности осадочных бассейнов. Основной задачей проекта является выявление геодинамически активных зон, где реализуется повышенная трещиноватость и связанная с ней флюидная проницаемость. Данная научно-техническая проблема особенно актуальна в связи с поиском и разведкой месторождений нефти и газа, имеющих нетрадиционные ловушки в трещиноватых коллекторах. С изучением вторичной проницаемости связаны технологии извлечения метана из угольных пластов и сланцев. Распределение зон повышенной трещиноватости и, как следствие, флюидной проницаемости зависит от новейшей геодинамической активности района, которая проявляется на поверхности Земли в виде новейших дислокаций, отраженных в рельефе, повышенных значениях теплового потока, сейсмичности и часто подчеркивается скоплением месторождений нефти и газа. Предлагаемые работы требуют комплексных геолого-геоморфологических исследований, дополненных построением современных компьютерных и тектонофизических моделей новейших геодинамических процессов, влияющих на флюидную проницаемость геологической среды. Была создана электронная версия карты нового поколения «Новейшей тектоники Восточно-Европейской платформы» в масштабе 1:500 000, охватившая большую часть ее территории. Благодаря полученным данным изучены механизмы влияния глубинных процессов на изменение ландшафтных особенностей рельефа дневной поверхности. Установлено, что новейшие структуры по-разному коррелируют с глубинными дислокациями. Как правило, наблюдается частичное наследование поверхностными структурами древних. Характерна тенденция разрастания новейших поднятий по сравнению с глубинными структурами. Особенно хорошее соответствие обнаруживается в периферических частях платформы и в областях ее сопряжения с Уральским орогеном и Скифской плитой. Так, структурно-геоморфологические исследования позволили установить взаимосвязь новейших дислокаций Прикаспийской впадины с фундаментом и тектоникой Уральского орогена и Скифской плиты.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение неотектоники Восточно-Европейской платформы охватывает длительный период. У истоков стояли Н.И. Николаев, С.С. Шульц, В. И. Макаров, А.А. Наймарк, П.Н. Николаев, Ю.А. Мещеряков, В. И. Бабак и многие другие. В настоящее время имеются карты неотектоники на всю территорию Восточно-Европейской платформы: «Карта новейшей тектоники СССР и сопредельных областей масштаба 1 5 000 000 (гл. ред. Н.И. Николаев, 1979); «Карта геоморфолого-неотектонического районирования нечерноземной зоны РСФСР» масштаб 1:1 500 000 (гл. ред. В.И. Бабак, 1980); «Карта новейшей тектоники Северной Евразии» масштаб 1:5 000 000 (под редакцией А.Ф. Грачева,1997).

Все эти работы носят, как правило, обобщающий характер, а на построенных мелкомасштабных картах выделяются новейшие дислокации первого ранга. Методы, которые использовались при построениях (морфометрический, геоморфологический, повторного нивелирования и др.) проводились по космическим снимкам и топографическим картам предшествующего поколения. Появление компьютерных технологий и современных космических изображений с высоким разрешением, позволяющих выявлять малоамплитудные, слабо выраженные в рельефе, дислокации существенно расширяет наши представления о новейшей тектонике и геодинамике равнинных территорий. С целью изучения новейшего строения Восточно-Европейской платформы, влияния на развитие ее глубинных дислокаций был проведен структурно-геоморфологический анализ, дополненный автоматизированной обработкой радарных космических снимков ASTER GDEM с помощью программы LESSA. Полученные результаты сопоставлялись с сейсмичностью, распределением теплового потока, эманациями водорода, гравитационными, магнитными аномалиями и т.д.

Основой работы являлся структурно-геоморфологический анализ, направленный на выявление в рельефе дислокаций и предполагавший дешифрирование топографических карт масштаба 1:1 000 000 (рабочий масштаб 1:500000), космических радарных изображений, а также построение геолого-геоморфологических профилей. Основные положения методики структурно-геоморфологического анализа изложены в [Костенко,1999]. Следует указать на особенности выделения новейших дислокаций в равнинных областях, где перепад абсолютных отметок рельефа невелик, а дислокации перекрыты чехлом рыхлых четвертичных отложений и на обычных топографических картах малоамплитудные структуры не всегда можно выделить. Главным индикатором является гидросеть. Расходящийся по радиусам от свода поднятия к его периферии, рисунок гидросети указывает на его развитие, а границы такого поднятия оконтуриваются или обрамляются речными долинами. Гидросеть часто использует зоны разрывов, трещиноватости, дробления и повышенной проницаемости пород, которые

интерпретируются как слабые зоны [Костенко,1999] или чаще употребляемые в литературе линеаменты. В понятие «линеамент» мы вкладываем тектонический смысл. Эти зоны являются результатом избирательного процесса эрозии и часто выражаются в рельефе линейными участками речных долин. Изменение простирания и ширины речных долин (пояса меандрирования) также являются хорошими признаками для выявления новейших разрывных и пликативных дислокаций. Однако следует помнить, что эрозионная сеть разрабатывает не только новейшие, но и древние разрывы и системы трещин, а речные долины приурочены к слабым зонам избирательно, т.е. фрагментарно.

Степень достоверности выявленных слабых зон повышается при анализе рельефа не только в горизонтальной плоскости, но и в вертикальном сечении. Для этого были построены геоморфологические профили, заложенные по водораздельным поверхностям. Интерпретация профилей позволила перевести некоторые слабые зоны в ранг разрывов и оценить амплитуды смещения по ним, а сопоставление их с современными геолого-геофизическими данными, в частности с материалами сейсмического зондирования, позволило установить степень унаследованности новейших дислокаций от древних структур.

Использование космических радарных снимков высокого разрешения, позволяющих, с одной стороны, повысить детальность работ, а с другой ─ обзорность, помогло с большей долей достоверности провести структурно-геоморфологическое дешифрирование района исследования. Современные способы компьютерной обработки сделали возможным выявить даже небольшие колебания амплитуд рельефа. Применение автоматизированной обработки радарных изображений с помощью программы LESSA [Златопольский, 1988] позволило выявить скрытые, не различимые визуально, особенности рельефа, такие как, например, плотность гидросети, изменение характера роз-диаграмм слабых зон или линеаментов, линий вытянутости гидросети и др.

Использование ГИС-технологий, с помощью которых можно одновременно рассматривать привязанные друг к другу разного рода материалы, меняя масштабы изображения, существенно повысило точность и степень достоверности полученных результатов. Автоматизированное построение геоморфологических профилей существенно сократило время, которое затрачивалось на их построение вручную. Описанный выше комплекс методов положен в основу проведенных исследований.

Сравнение выявленных новейших дислокаций с геолого-геофизическими материалами, отражающими глубинное строение района, а также с распределением эпицентров землетрясений, теплового потока, с результатами эманационной водородной съемки, данными космической

геодезии и др. позволило выявить геодинамически активные структуры Восточно-Европейской платформы.

СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Структурно-геоморфологический анализ был выполнен на большую часть Восточно-Европейской платформы в пределах ее основных структур фундамента. Далее приводится описание главных особенностей отражения этих структур и их элементов в современном рельефе.

Воронежская антеклиза имеет прямое выражение в современном рельефе и соответствует субмеридионально вытянутой Среднерусской возвышенности. В рельефе хорошо читаются две ветви поднятий разного ранга, характеризующимися различными амплитудами и морфологией. Поднятия разделяют узкие впадины, к которым приурочены речные долины (рис.1). Самое северное в этой системе ─ Чеховское поднятие, вытянутое с северо-запада на юго-восток, обрамляется с юга фрагментами долин рек Оки, Протвы, Руть, с севера – долиной р. Москвы и частично р. Оки. Максимальная амплитуда составляет 230 м. Оно нарушено линеаментами с преобладающим северо-западным простиранием. Расположенное южнее изометричное Калужское поднятие ограничивается долинами р. Оки на юге и востоке и р. Протвы и р. Суходрев на севере и западе соответственно. Максимальные амплитуды достигают 259 м. Юго-восточнее выделено в рельефе Веневское поднятие с абсолютными отметками 258 м. На севере оно обрамляется долиной р. Оки, на востоке – ее притоком – р. Большой Смедорой, на юге и юго-востоке – фрагментами долин рек Уча, Шат, Дон. К юго-западу от Веневского расположено обширное Плавское поднятие, в пределах которого выявлены несколько локальных поднятий. Северная его часть вытянута с северо-запада на юго-восток, а южная – с северо-востока на юго-запад. Максимальные отметки рельефа достигают 276 м. Со всех сторон Плавское поднятие ограничивают долины (р. Шат (с севера), Дон (с востока), Сосна (с юга) и др.). Юго-западнее Плавского выделено Курское поднятие, нарушенное линеаментами северо-западного и северо-восточного простирания.

К востоку в рельефе прослеживается система поднятий, граничащая с Окско-Донским прогибом. Эти поднятия названы нами как Зарайское, Голдинское, Милославское и Липецкое. Все они вытянуты в плане и меняют ориентировку: с северо-западной (Зарайское, Голдинское) на субширотную (Милославское) и субмеридиональную (Липецкое). Максимальные абсолютные отметки колеблются от 228 м (Голдинское) до 249 м (Зарайское). Поднятия обрамляются фрагментами речных долин Оки, Большой Смедоро, Осетра (Зарайское поднятие), Верды, Прони (Голдинское поднятие), Дона, Рановы (Милославское).

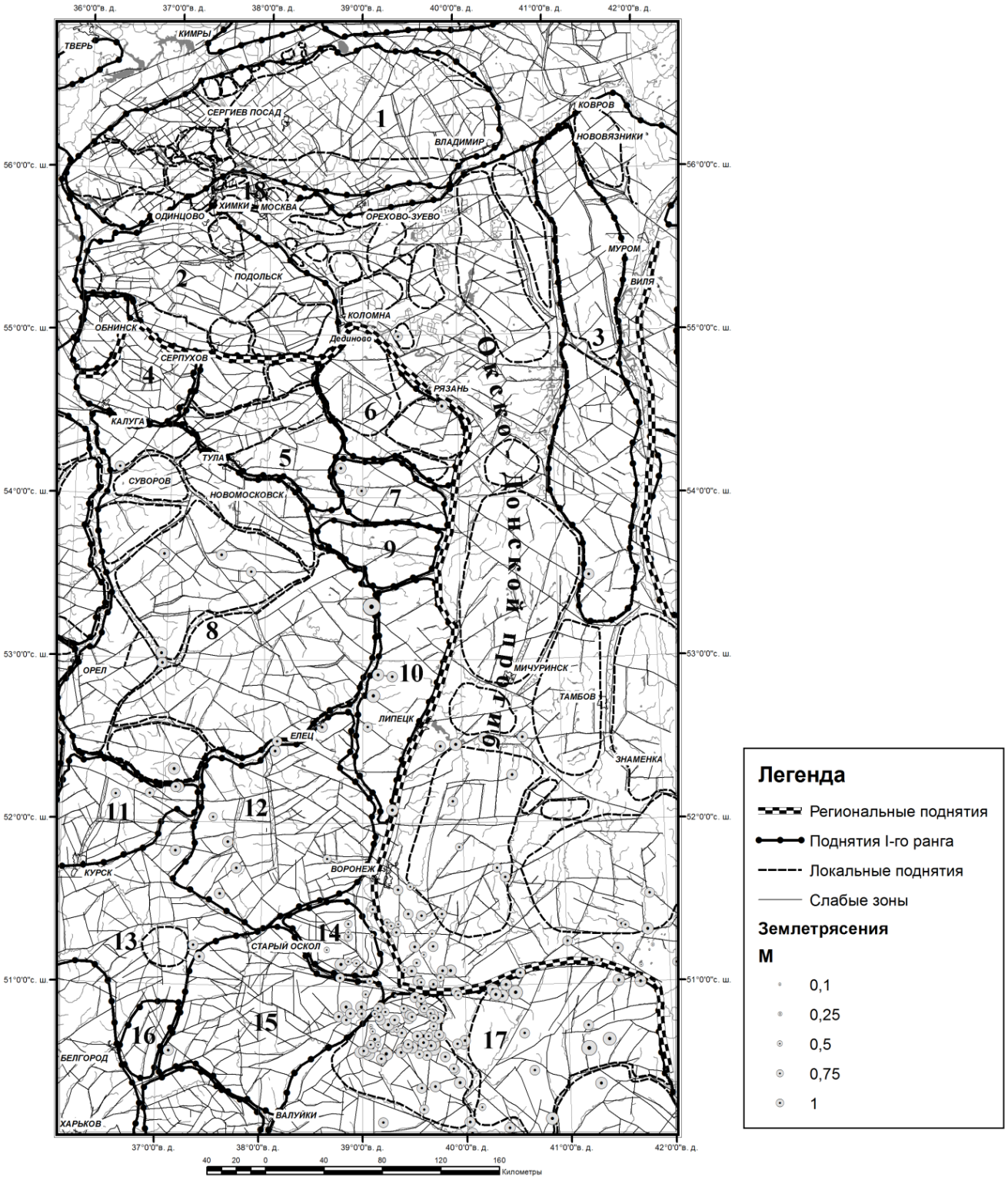


Рис. 1. Структурно-геоморфологическая карта центральной части Восточно-Европейской платформы. Новейшие поднятия первого ранга: цифрами обозначены: 1 – Московско-Дмитровское, 2 – Чеховское, 3 – Окско-Цнинский вал, 4 – Калужское, 5 – Веневское, 6 – Зарайское, 7 – Голдинское, 8 – Плавское, 9 – Милославское, 10 – Липецкое, 11 – Курское, 12 – Олымское, 13 – Обояньское, 14 – Кочетовское, 15 – Оскольское, 16 – Корочское, 17 – Белогорско – Калачское. Понижения: 18 – Клязьминское

Описанные поднятия нарушены системами линеаментов различных ориентировок, которые часто соответствуют глубинным разломам, установленным сейсмическим зондированием (рис.2). Юго-восточнее Плавского поднятия в рельефе выделяются близкие к изометричной форме Обояньское и Оскольское. Олымское и Обояньское поднятия обрамляются долинообразными понижениями фрагментов рек Оскол, Псел, Северский Донец, Сейм. Олымское поднятие выражено в рельефе отметками 267-268 м. Оно нарушено слабыми зонами всех четырех простираний – северо-восточным, северо-западным, субширотным и субмеридиональным, причем доминирующим направлением линий вытянутости, которые были построены с использованием программы LESSA, является северо-западное. Слабые зоны северо-западного и северо-восточного простирания на отдельных участках совпадают с разломами в докембрийских комплексах. Сходные простирания слабых зон, совпадающими с линиями вытянутости, характерны и для изометричного Обояньского поднятия. Здесь фундамент расположен близко к поверхности и отмечена наибольшая корреляция новейших дислокаций с древними. Частично попадающее в область исследования Курское поднятие, имеет максимальную амплитуду 268 м. Здесь простирания слабых зон и линий вытянутости ─ субмеридиональное, северо-восточное и северо-западное. Последние два совпадают с разломами фундамента.

Северо-западные линеаменты контролируют границы новейших поднятий в северной части Среднерусской возвышенности ─ Чеховского, Калужского, Веневского, Зарайского, Плавского, что связано с влиянием Пачелмского авлакогена. Зарайское, Голдинское, Милославское и юго-восточная часть Плавского поднятия нарушены субширотными линеаментами, которые прослеживаются в дочетвертичных комплексах. В области юго-восточного склона Воронежской антеклизы ранее были выявлены структуры первого ранга [Трегуб, 2002], которые позднее были детализированы нашими исследованиями (Панина, Зайцев, 2012). Новейшие структуры создают здесь своеобразный концентрический рисунок, представляющий собой ряд дугообразно расположенных поднятий: Кочетовское, Оскольское, Корочское, Белогорско-Калачское.

Изометричное Кочетовское поднятие (максимальная абсолютная отметка 244 м) с востока обрамляется долиной р. Дон. На юге его границей служит долина р. Потудань. С юго-запада к нему примыкает Оскольское поднятие с альтитудой 246 м. В центральной части оно прорезано субмеридиональной долиной р. Оскол и нарушено линеаментами (слабыми зонами) северо-восточного, северо-западного, субмеридионального и субширотного простираний. Линеаменты частично совпадают с разломами фундамента. Западнее расположено вытянутое в субмеридиональном направлении Корочское поднятие с амплитудами до 242 м. Его морфология

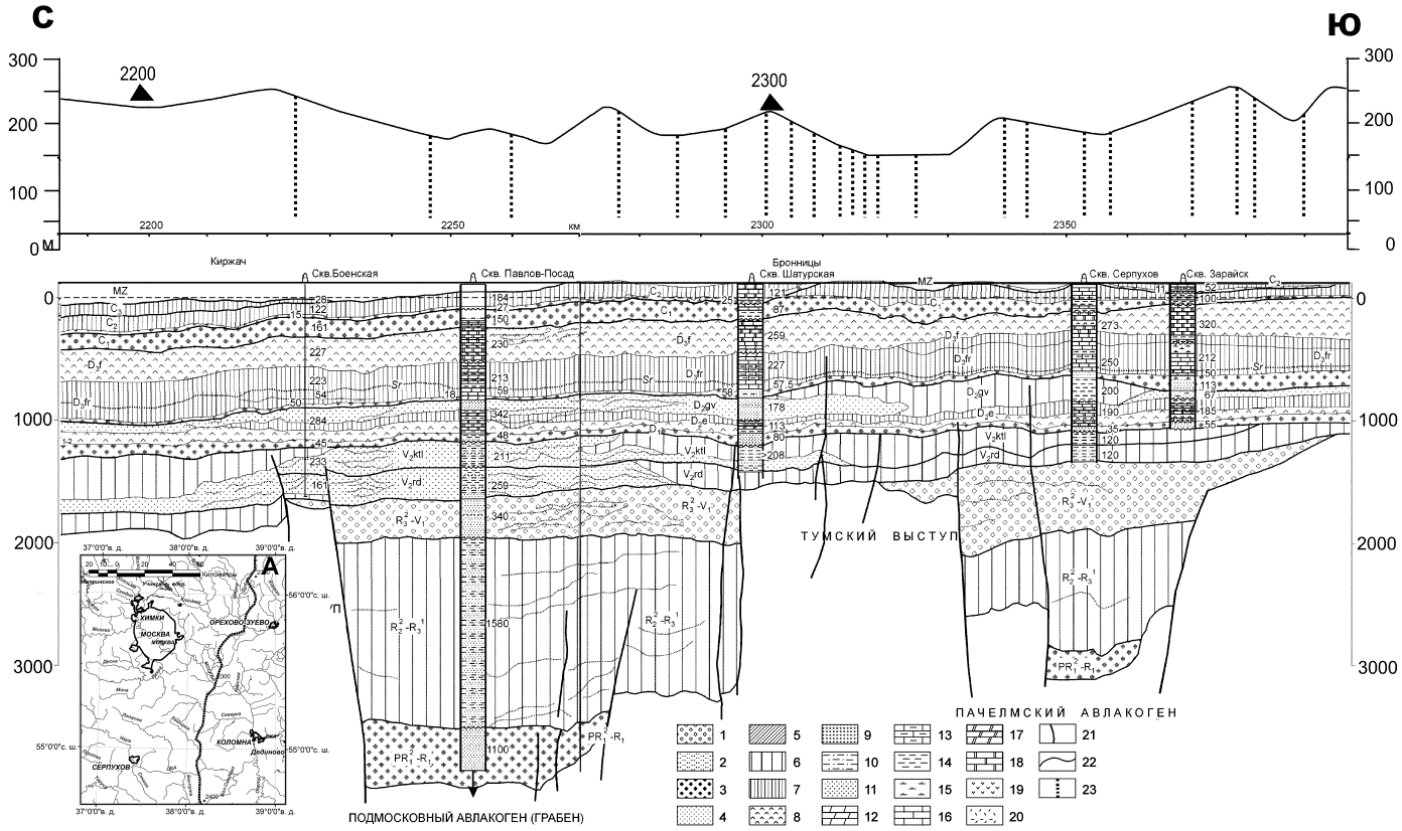


Рис.2. Сопоставление фрагментов геоморфологического профиля и геотрансекта ЕВ-1 (Ладейное поле-Воронеж) по Херасковой и др., 2006. Местоположение профиля показано на рис.2А. Геотрансект ЕВ-1:

1-9 – обстановки осадконакопления: 1 – континентальные с расчлененным рельефом (пестроцветные терригенные отложения аллювиально-пролювиального и озерного генезиса), 2 – прибрежно-континентальных равнин (включая дельты), периодически заливаемых морем (алевро-песчаные и глинистые отложения, иногда с прослоями карбонатов, часто пестроцветные), 3 – прибрежно-морские трансгрессирующего бассейна (светлые, часто олигомиктовые песчаные отложения), 4 – авандельт, подводных конусов выноса обломочного материала (песчано-алевро-глинистые косослоистые отложения, текстуры оползания, прослои турбидитов, каналы течений), 5 – склонов бассейна (преимущественно алевро-глинистые морские отложения значительной мощности, линзы песчаного материала), основные зоны разгрузки и захоронения терригенного материала, 6 – морские с преимущественно глинистой седиментацией (центральные части бассейна нормальной и пониженной солености), 7 – морские с преимущественно карбонатной седиментацией (бассейны нормальной солености), 8 – морские с повышенной соленостью вод, засолоняющиеся бассейны и лагуны, эвапоритовые бассейны, 9 – предполагаемые биогермы; 10-20 – знаки на колонках: 10 – алевролиты и алевриты, 11 – песчаники, пески, 12 – мергели известковые, 13 – глинистые известняки, 14 – глины и аргиллиты, 15 – известковистые глины, 16 – известняки, 17 – доломитовые мергели, 18 – доломиты; 19 – гипсы и ангидриты, 20 – пирокластический материал, пепловые туфы; 21 – разломы. Геоморфологический профиль: 22 – рельеф дневной поверхности, 23 – линеаменты (слабые зоны).

обусловлена контролем речных долин Корочи на востоке и Северский Донец на западе. Морфологию Кочетовского и Оскольского поднятий подчеркивают линеаменты (слабые зоны) северо-восточного простирания.

Юго-восточнее расположено обширное Белогорско-Калачское поднятие, в пределах которого выделены Северо- и Южнокалачское и Белогорское частные поднятия [Панина, Зайцев, 2012]. Максимальные амплитуды их составляют порядка 240 м (северная часть Белогорского поднятия). Поднятия нарушены серией линеаментов северо-западного, северо-восточного и субмеридионального простирания. Наиболее протяженные из них следуют вдоль речных долин Осереди и Дона. Долина р. Дон, по-видимому, разрабатывает зону разрыва со сдвиговой составляющей. Образование этих поднятий связано с ростом Воронежской антеклизы, начавшийся, как установлено, в миоцене. Сочетание пликативных и блоковых новейших дислокаций образует сводово-блоковый стиль, присущий многим районам Восточно-Европейской платформы.

Некоторые из выявленных линеаментов находят свое продолжение в области Окско-Донского прогиба, расположенного восточнее Среднерусской возвышенности. Окско-Донской прогиб вытянут в субмеридиональном направлении и детально изучен ранее [Макарова и др., 2002]. Образованный в новейшее время и выполненный мощной толщей неоген-четвертичных образований, в настоящее время он испытывает тенденцию к поднятию, на что указывает преобладание здесь локальных поднятий над впадинами (рис.1). Наиболее ярко выраженный в рельефе Окско-Цнинский вал (максимальная абсолютная отметка рельефа 184 м) прослеживается по поверхностям девонских отложений и верейского горизонта, а его субмеридиональная ориентировка контролируется зоной разлома фундамента, которая маркируется на поверхности слабыми зонами. На юге вала нами отдешифрированы линеаменты северо-западного простирания, которые, по-видимому, являются отражением в рельефе разломов Пачелмского авлакогена.

Преобладающим направлением линий вытянутости роз-диаграмм эрозионной сети, построенных с использованием программы LESSA [Златопольский,1988] является северо-западное, а линии вытянутости следуют вдоль некоторых разломов фундамента [Панина, Зайцев, 2012]. Некоторые поднятия (Оскольское) характеризуется радиальным рисунком линий вытянутости роз-диаграмм, сходящихся в центральной части, а к северо-западной части его приурочены максимальные значения плотности эрозионного расчленения. Само поднятие нарушено слабыми зонами северо-восточного, северо-западного, субмеридионального и субширотного простирания, частично совпадающими с разломами фундамента. Корреляция новейших структур с фундаментом позволяет говорить о влиянии Пачелмского авлакогена на

формирование первых. Это выражается в контроле простирания таких поднятий, как Чеховское, Калужское, Веневское, Зарайское, Плавское. Сравнительно высокие значения плотности эрозионной сети характерны для Белогорского поднятия, что может косвенно указывать на его активный рост. Одними из показателей геодинамической активности новейших структур Воронежской антеклизы является сейсмичность. Анализ распределения эпицентров землетрясений юго-восточного склона Воронежской антеклизы показал их корреляцию с перифериями растущих поднятий, линеаментами и их пересечениями.

Волго-Уральская антеклиза. В рельефе Волго-Уральская антеклиза выражена крупными возвышенностями Высокого Заволжья: Бугульминско-Белебеевской и Общим Сыртом, образовавшимся в неоген-плейстоцене. Эти возвышенности соответствуют одноименным новейшим поднятиям, наследующим в целом южную вершину Татарского свода и погребенный Оренбургский свод, и относятся к положительной морфоструктуре Волго-Уральской зоне поднятий, несколько вытянутой в субмеридиональном направлении вдоль Уральского орогена [Горелов, 1972]. Проведенные нами структурно-геоморфологические исследования

позволили выделить на территории Волго-Уральской антеклизы серию разноранговых поднятий и впадин, осложненных линеаментами и разрывными нарушениями.

В пределах крупного Бугуминско-Белебеевского поднятия в рельефе выражены локальные (частные) поднятия, абсолютные отметки которых варьируют от 180 до 480 м, причем максимальные отметки приурочены к его своду (рис.3).

Некоторые из частных поднятий практически совпадают с выделенными ранее Стерлибашевской, Белебеевско-Шкаповской, Белебеевской морфоструктурами, развивающиеся с мезозоя [Горелов,1972]. Помимо них в рельефе прослежены Аксубаевское, Карамышевское, Филипповское, Исаклинское, Бугульминское, Усмановское, Чекмагушское и другие. Локальные поднятия отделены друг от друга узкими долинообразными впадинами и нарушены линеаментами и разрывами премущественно северо-восточного простирания. Среди разрывов установлены сбросы и флексуры, соответствующие разломам фундамента. Наряду с северо-восточными, широко развиты и северо-западные линеаменты. Наиболее протяженные из них следуют или сохраняют простирание разломов фундамента. Сами границы Бугульминско-Белебеевского поднятия также контролируются протяженными линеаментами, которые коррелируют с разломами фундамента и геологическими разрывами (рис.3).

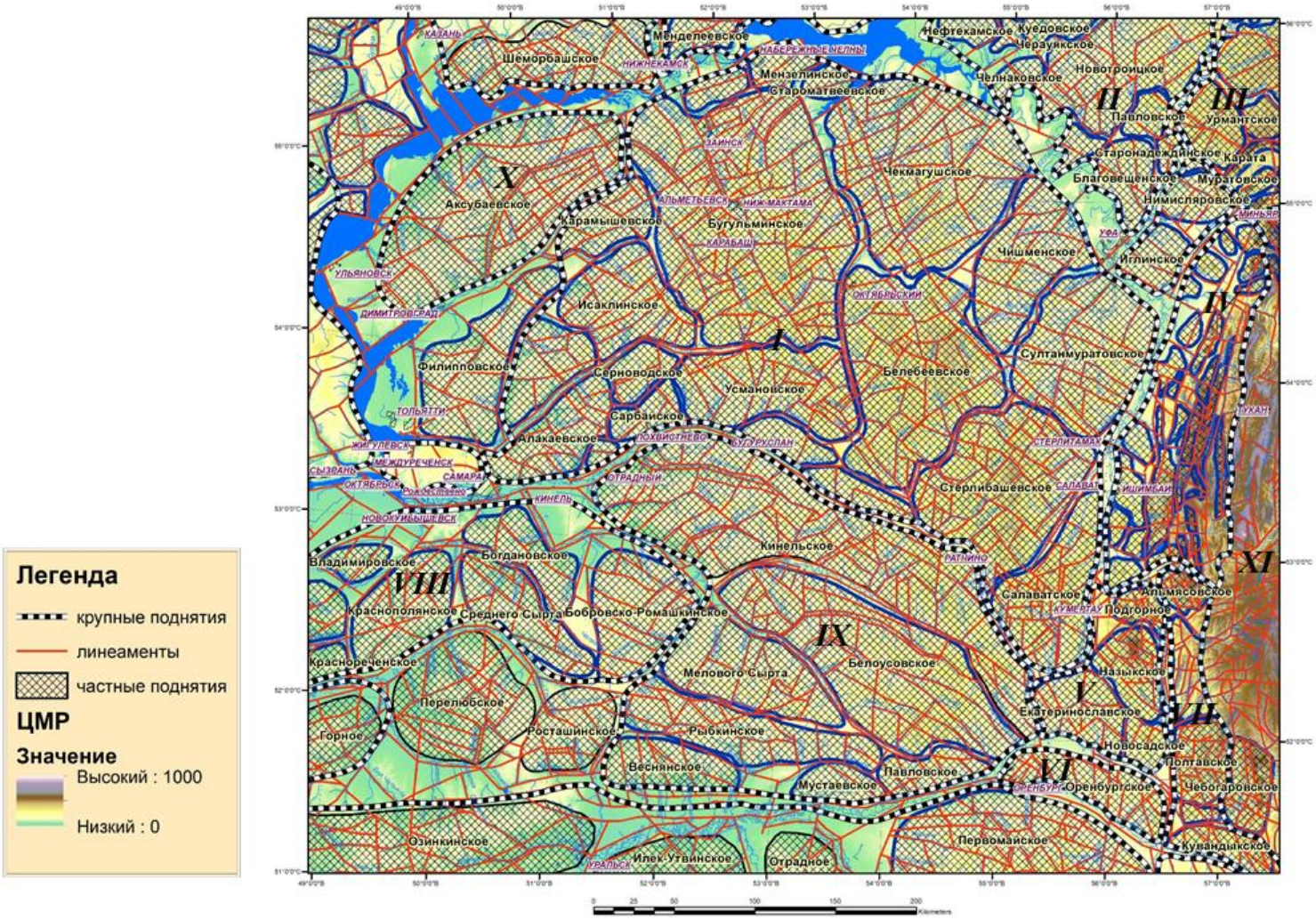


Рис. 3. Структурно-геоморфологическая карта района Волго-Уральской антеклизы. Цифрами обозначены крупные поднятия: I – Бугульминско-Белебеевское, II − Бельско-Уфимское; III − Иглинско-Нимисляровское; IV − Ишимбай-Расмикеевское; V − Сакмаро-Бельское; VI − Оренбургское; VII − Бикбулатово-Кувандыкское; VIII – Сыртовское; IX − Сорочинско – Кинельское ; X – Аксубаевское; XI − Уральское

К северо-востоку от него расположены Бельско-Уфимское и Иглинско-Нимисляровское крупные поднятия, в пределах которых выделено несколько частных структур. Бельско-Уфимское обрамляется долинами рек Белая на западе и Уфы на востоке. Оно включает субмеридиональные Благовещенское (абсолютная отметка на своде 259 м) и Старонадеждинское поднятия, расположенные на юге, а также Павловское и Новотроицкое на севере. Павловское имеет максимальную амплитуду (317 м) и входит в состав Уфимское плато – крупной возвышенности Предуралья. Обширное Новотроицкое поднятие, вытянутое в северо-восточном направлении обрамляется участками долин рек Уфа на востоке и Быстрый Танып на западе. Абсолютные отметки на водоразделах здесь составляют 250-312 м. Поднятие нарушено линеаментами северо-западного, северо-восточного и субмеридионального простирания.

Протяженный северо-западный линеамент в центральной части структуры является откликом на поверхности разлома фундамента, где-то следуя вдоль последнего, где-то сохраняя его простирание. Северо-западнее Новотроицкого и параллельно ему расположены Челнаковское и Куедовское поднятия с максимальными абсолютными отметками 226-240 м соответственно. На юго-западе выделены Нефтекамское и Черауякское поднятия, слегка вытянутые в субмеридиональном направлении с максимальными абсолютными отметками 229 м.

К юго-востоку от Бельско-Уфимского и параллельно ему расположено крупное Иглинско-Нимисляровское поднятие северо-восточного простирания, разделяющееся на два локальных собственно Иглинское (на юге) и Нимисляровское (на севере), разделенные впадиной-долиной р. Лебовка. Абсолютные отметки поднятий составляют более 200 м (267─269 м). Иглинское поднятие нарушено линеаментами преимущественно северо-западного простирания, Нимисляровское – северо-восточного. Само Иглинско-Нимисляровское поднятие контролируется линеаментами северо-восточного простирания, разрабатываемыми фрагментами долин рек Уфа на западе и Сим на востоке.

На северо-востоке Иглинско-Нимисляровское поднятие по узкой впадине-долине граничит с системой поднятий Уфимского плато. В целом крупное поднятие Уфимского плато имеет субмеридиональную ориентировку, а амплитуды локальных поднятий колеблются от 380 до 738 м. Причем южные поднятия более высокоамплитудные. На севере локальные поднятия овальной формы, на юге и на востоке они приобретают линейную форму (Волковское, Воробьиные горы, Карата, Аркауловское, Улькундинское). К овальным поднятиям относятся Муратовское, Александровское, Урмантское. Среди линеаментов преобладают северо-восточные и северо-западные, реже встречаются и субмеридиональные. Северо-западные линеаменты наследуют разломы фундамента и разломы, показанные на геологической карте.

На востоке, с Уральским орогеном граничит протяженное субмеридиональное Ишимбай-Расмикеевское поднятие, объединяющее частные структуры – хребты Предуральского предгорного прогиба вытянутые вдоль западного склона Урала. Хребты ограничены субмеридиональными линеаментами, часто являющиеся разрывами, установленными по геологическим данным. В тектоническом отношении эти хребты представляют собой, по-видимому, складчато-надвиговые дислокации.

Южнее Ишимбай-Расмикеевского расположено Сакмаро-Бельское поднятие, включающее ряд локальных поднятий (Подгорное, Екатеринославское и Новосадское). Максимальные амплитуды их колеблются от 316 (Екатеринославское) до 622 м (Подгорное). Характерно преобладание северо-западных и субмеридиональных линеаментов. Южнее Сакмаро-Бельского расположено субширотное Оренбургское поднятие, ограниченное с севера и юга новейшими

разрывами, разрабатываемыми долинами рек Сакмара и Урал соответственно. Эти разрывы являются отражением в рельефе разломов фундамента. В рельефе в виде линеаментов выражены и разрывы, установленные по геологическим данным. Среди них разрыв северо-восточного простирания, разрабатываемой участком долины р. Сакмара и являющийся западной границей Оренбургского поднятия. Выражены в рельефе и субмеридиональные разрывы, параллельные разломам фундамента.

К востоку от Сакмаро-Бельского и Оренбургского расположено субмеридиональное Бикбулатово-Кувандыкское, граничащее на востоке с Уральским горным сооружением и включающее субмеридиональные Дмитриевское, Полтавское и субширотные Сакмарское и Кувандыкское поднятия.

Крупное субширотное поднятие Общего Сырта (Среднего и Мелового сырта) состоит из двух поднятий: субширотного Сыртовского и Сорочинско – Кинельского, вытянутого в северо-западном направлении. В пределах этих крупных структур выявлены локальные поднятия, разделенные узкими впадинами-долинами. Ранними исследованиями здесь установлены морфоструктуры, развивающиеся с палеоцена-эоцена [Горелов,1972]. Амплитуды колеблются их от 162 м до 356 м. По мере продвижения на юг, в сторону Прикаспийской впадины, амплитуды поднятий уменьшаются. Доминирующими протяженными линеаментами являются северо-западные и северо-восточные. Они контролируют границы поднятий.

Южнее поднятий Общего сырта, в области Узени-Иргизского понижения, выделены малоамплитудные (198 – 137 м) изометричное Перелюбское и слегка вытянутое в северо-восточном направлении Росташинское поднятия. Ранее здесь были выявлены раннеплиоценовые морфоструктуры, возрожденные в позднем плиоцене-раннем плейстоцене [Горелов,1972]. Линеаменты, осложняющие эти поднятия имеют северо-восточное, северо-западное, реже субмеридиональное простирание.

Таким образом, крупные новейшие поднятия Волго-Уральской антеклизы Бугульминско-Белебеевское и Общего Сырта включают локальные поднятия, которые вытянуты в северо-восточном, северо-западном, субмеридиональном и субширотном направлении. Встречаются и поднятия изометричной формы. Они разделены узкими впадинами-долинами и нарушены линеаментами тех же простираний. Линеаменты часто ограничивают поднятия и разделяют блоки рельефа, на которые разбиты пликативные структуры. Отдельные линеаменты и их системы являются отражением в рельефе разломов фундамента преимущественно северо-восточного и северо-западного простирания или являются разрывами, что подтверждено геолого-геофизическим данными, как например, субмеридиональный разлом, разрабатываемый долиной р. Белая и служащий границей Русской равнины и Предуральского прогиба.

Выявленные новейшие поднятия в одних случаях наследуют своды фундамента (Пермско-Башкирский, Южно-Татарский, Оренбургский), в других – коррелируют со структурами фундамента частично. Прямое соотношение с дислокациями тиманид характерно для локальных структур Бугульминско-Белебеевского (Чекмагушкое, Чишменское, Султанмуратовское поднятия) и расположенного к северо-востоку от него Новотроицко-Урмантского поднятия. Локальные структуры Бугульминско-Белебеевского поднятия соответствуют Южно-Татарскому своду; Стерлибашевское, Салаватское, Белоусовское (Сорочинско – Кинельское крупное поднятие) соответствуют Оренбургскому своду. Коррелирует Натальинско-Ункурдинское крупное поднятие, развивающееся над интенсивно деформированными отложениями байкальско - (рифей-средний кембрий) структурного этажа. Прямое соотношение с фундаментом имеют поднятие Уфимского плато, соответствующее Пермско-Башкирскому своду. Встречаются и обращенные структуры. Екатеринославское, Назыкское, Подгорное поднятия развиваются над Салмышской впадиной фундамента, а Улькудинское, Карплыкановское, частично Ашевское и Юкатаусское развиваются над Юрюзанско-Сылвинской впадиной фундамента. К числу обращенных относятся и Кувандыкское, Полтавское поднятия. Такие поднятия как Оренбургское, Первомайское частично соответствуют поднятым участкам фундамента.

С фундаментом коррелируют протяженные линеаменты или их системы, разделяющие крупные структурные элементы. На юге линеаментами отделяются поднятия Общего Сырта от Прикаспийской впадины, на востоке ─ линеаменты являются границей Восточно-Европейской равнины с Предуральским прогибом. Линеаменты ограничивают с юга и севера крупные новейшие поднятия, такие как Оренбургское, Первомайское, Кувандыкское, Екатеринославское (с севера), Мокроусское (с северо-запада), Бугульминско-Белебеевское на северо-западе; локальные поднятия на северо-западе (Алакаевское). Линеаменты северо-западного и северо-восточного простирания (Бугульминско-Белебеевское и Бельско-Уфимское поднятия) коррелируют с разломами фундамента. Частично коррелируют с разломами фундамента линеаменты, осложняющие локальные поднятия: Кинельское (северо-восточный линеамент), Горное, Перелюбское, Росташинское, Салаватское, Первомайское, Султанмуратовское и др. Для области сочленения с Уральским горным сооружением характерны субмеридионально ориентированные поднятия и линеаменты, что свидетельствует о влиянии первого на формирование новейших дислокаций Восточно-Европейской платформы.

Детальное дешифрирование в области Татарского свода (участок Бугульминского новейшего поднятия) – частной структуры Волго-Уральской антеклизы, выявило густую регматическую сеть линеаментов, отражающую степень раздробленности платформенного чехла и фундамента. Сильно раздробленные зоны приурочены к участкам динамического влияния

крупных разломов кристаллического фундамента, таких как Прикамский и Алькеево-Пичкасский (Прикамская сдвиговая система в пределах Северо-Татарского свода), что подтверждается геофизическими данными. Многие из выделенных линеаментов подтверждены аномальными значениями гелия и водорода [Хисамов Р.С. и др., 2005].

Новейшие дислокации активны. С ними часто связаны аномалии гелия и водорода; к перифериям растущих поднятий и некоторым линеаментам приурочены эпицентры землетрясений, повышенные значения теплового потока; они контролируют расположение нефтегазовых месторождений. Последние вытянуты вдоль линеаментов северо-восточного простирания, а самое большое Ромашкинское месторождение изометричной формы расположено в сводовой части активно развивающегося Бугульминского поднятия. Некоторые месторождения тяготеют к периферии новейших поднятий (Первомайское, Нефтекамское).

Прикаспийская синеклиза в современном рельефе соответствует одноименной впадине, осложненной поднятиями разного ранга и амплитуды, подробно описанными ранее [Панина, Зайцев, 2014]. По северной и восточной перифериям Прикаспия развиты преимущественно высокоамплитудные (100-250 м) поднятия, разделенные узкими впадинами-долинами. В центральной и западной частях Прикаспийской впадины выявлены малоамплитудные (не более 100 м), на юге доминируют погребенные изометричные локальные поднятия, часто обусловленные соляным диапиризмом (Рис.4). Одни поднятия соответствуют положительным структурам фундамента: Северо-Западной бортовой зоне, Астраханско-Актюбинской системе поднятий, Заволжско-Предуаральской складчатой зоне. Другие являются обращенными структурами (Ажбайское, Талдыкудукское, Сатыбалдыкское, Кожантайское, Мокринское и др.). Обращенные поднятия центральной части Прикаспия часто связаны с диапиризмом (Шалкарское, Юлаевское, Индерское, Сагизское, Эльтонское).

Встречаются и так называемые переходные структуры. Так, Сорочинское поднятие, расположенное на севере, соответствует фундаменту лишь на севере, а на юге является обращенной структурой. В некоторых случаях наблюдается хорошая корреляция новейших дислокаций с девонскими структурами (Долинное поднятие на севере).

Визуальное и автоматизированное дешифрирование космических радарных изображений позволило выявить линеаменты различного простирания. На юге, северо-западе и западе района преобладают линеаменты северо-западного простирания, на востоке – субмеридионального. Повсеместным распространением пользуются северо-восточные линеаменты. Субширотные линеаменты приурочены в основном к центральной части впадины. Наиболее протяженные из них наследуют разломы фундамента (Азгирский, Жолдыбайский, Эмбенский и др.). Они

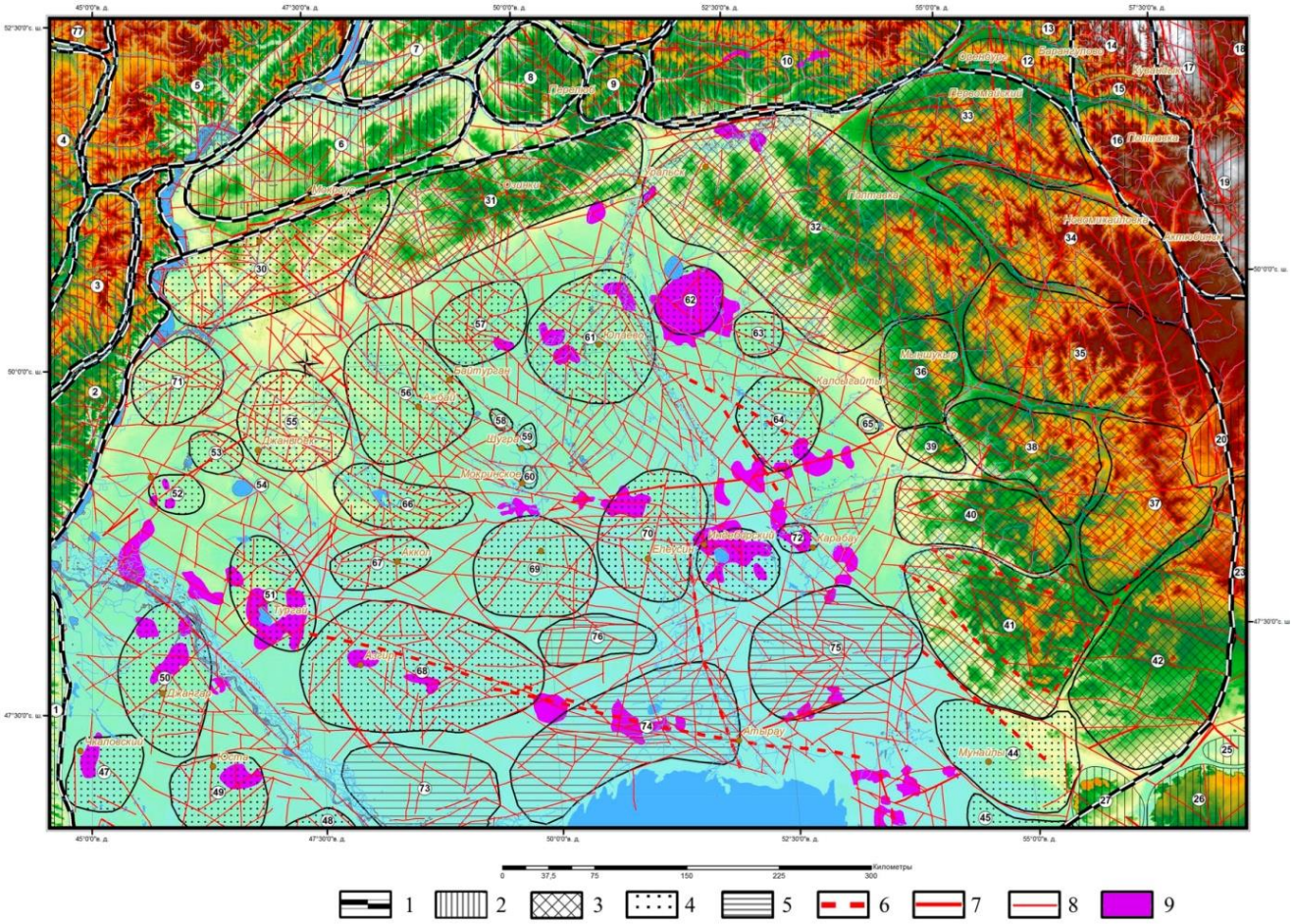


Рис. 4. Структурно-геоморфологическая схема Прикаспийской впадины и ее обрамления: 1 — границы структур первого ранга, 2 — 5 — новейшие поднятия: 2 — первого ранга, 3 — высокоамплитудные, 4 — малоамплитудные, 5 — погребенные; 6 — новейшие разломы, 7 — линеаменты, совпадающие с разломами фундамента, 8 — линеаменты, 9 — соляные диапиры. Цифрами обозначены новейшие поднятия: структуры обрамления Прикаспийской впадины: поднятия первого ранга: с запада: 1– Ергенинское, 2 – Приволжское; с северо-запада: 3 – Доно-Медведицкое, 4– Ртищевское, 5 – Саратовское, 6 – Мокроусское,77 – Каменское; с севера: 7 – Сыртовское, 8 – Перелюбское, 9– Росташинское, 10 – Сорочинское, 12 – Оренбургское,13 – Назыкское; с северо-востока и востока:область Предуральского прогиба: 14 – Чебогаровское,15 – Кувандыкское, 16 – Полтавское; область южной оконечности Урала: 17 – Новотроицкое, 18 – Ирендыкское,19 – Алимбетовское; Примугоджарский склон Туранской плиты: 20 – Кумжарганское, 22 – Джурунское; с юго-востока: 23 – Шошкакольское; 25 – Актумсык, 26 – Донызтаусское,27 – Жельтаусское, 28 – Турушское, 29 – Коркольское. Поднятия в пределах Прикаспийской впадины: северный склон: 30 – Ахматовское, 31 – Озинкинское, 32 – Долинное, 33 – Первомайское: восточный склон: 34 – Новомихайловское, 35 – Ащикольское, 36 – Акшатаусское, 37 – Енбекское, 38 – Караулкельдинское, 39 – Соркольское, 40 – Коскольское; юго-восточный склон: 41– Актолагайское; 42 – Жаркамысское, 44 – Мунайлинское, 45 – Опорное; западный и северо-западный склон: 47 – Чкаловское, 48 – Краснопесчаное ,49 – Юстинское,50 – Джангарское, 51 – Тургайское, 52 – Октябрьское, 53 – Булухтинское, 54 – Эльтонское, 55 – Джаныбекское, 71– Индерское; центральная часть: 56 – Ажбайское, 57– Талдыкудукское, 58 – Сатыбалдыкское ,59 – Кожантайское, 60 – Мокринское, 61 – Юлаевское, 62 – Шалкарское, 63 – Булдыртинское, 64 – Калдыгайтинское, 65 – Камыскольское, 66 – Аралсорское, 67 – Аккольское, 68 – Азгирское, 69 – Кусаинское, 70 – Елеусинское, 72 – Карабау ,73 – Астраханское, 74 – Северо-Каспийское, 75 – Сагизское, 76 – Баксайское

отражаются в гравитационных и магнитных аномалиях и маркируются соляными куполами, как например, новейший Азгирский разрыв запад-северо-западного простирания на юге Прикаспийской впадины. Линеаменты северо-восточного простирания также маркируются соляными куполами, особенно на востоке района. Протяженные линеаменты приурочены к границам Прикаспийской впадины с кряжем Карпинского, Предуральским прогибом, Примугоджарским склоном Туранской плиты. Эти линеаменты коррелируют с зонами разломов фундамента.

Проведенное компьютерное дешифрирование космических радарных изображений с помощью программы LESSA показало хорошую корреляцию с данными визуального дешифрирования. Благодаря анализу линий вытянутости элементов рельефа, построенным с использованием этой программы, были выявлены малоамплитудные и погребенные поднятия, а также многие линеаменты. Наблюдается хорошее соответствие между линиями вытянутости и структурными элементами фундамента: изогипсами, разломами. Было установлено хорошее соответствие между линиями вытянутости и структурными элементами фундамента: изогипсами и разломами. Особенно это касается крупных структур фундамента таких как, пограничные с Прикаспием структуры: Кряж Карпинского, Пачелмский авлакоген, а также Северо-Каспийское, Караулкельдинское поднятия фундамента в самой Прикаспийской впадине [Панина, Зайцев, 2011].

Таким образом, развивающиеся в Прикаспийской впадине поднятия разного ранга амплитуды, нарушенные линеаментами и новейшими разрывами, обусловлены тектоническими движениями блоков фундамента и соляным диапиризмом. Высокоамплитудные поднятия приурочены к восточной и северной перифериям Прикаспия. Малоамплитудные и погребенные положительные структуры развиты в центральной, испытавшей длительное погружение, области. Характерно частичное соответствие новейших дислокаций древним. Особенно хорошее соответствие обнаруживается в периферических частях: в областях сопряжения с активизировавшимися структурами Уральского орогена и Скифской плиты. Выявлена тенденция разрастания новейших поднятий по сравнению с глубинными.

На развитие структур Прикаспия оказывают влияние Скифская плита и горное сооружение Урала, активизировавшихся в позднем миоцене. Влияние Урала проявляется в образовании высокоамплитудных поднятий на востоке. Скифская плита, испытывающая поднятие в позднем миоцене и развивающаяся под воздействием Кавказского орогена [Панина,2009; Зайцев, Панина,2011] также оказывает влияние на развитие Прикаспия, что выражается в северо-западном простирании линеаментов, доминирующих в области Скифской плиты.

Московская синеклиза выражена в современном рельефе системой поднятий разного ранга, разделенных впадинами. Одним их крупных является субширотное Московско-Дмитровское поднятие, выделенное ранее [Макаров, 1996], и впоследствии более детально изученное [Мануилова, 2015; Панина и др., 2016]. Поднятие развивается над южным склоном Московской синеклизы. В современном рельефе Московско-Дмитровское поднятие соответствует Клинско-Дмитровской гряде, которая прослеживается в субширотном направлении от долины р. Руза на западе до долины р. Нерль на востоке. Гряда сложена моренами московского горизонта среднего неоплейстоцена. Максимальные абсолютные отметки поднятия достигают 295 м. Детальными исследованиями в пределах Московско-Дмитровского поднятия выявлена серия локальных поднятий, разделяющихся впадинами. Одной из них является Чашниковская. Поднятия коррелируют со структурами дочетвертичного рельефа (районы Хотьково, Яхрома, Дмитрова, Льялово, Менделеево, Истры и др). Истринское поднятие прослеживается в меловых, каменноугольных, девонских отложениях вплоть до фундамента.

Московско-Дмитровское поднятие разбито линеаментами преимущественно северо-западного и северо-восточного простирания, причем северо-восточные являются отражением в рельефе протяженной зоны разломов фундамента. Разрывная природа многих выделенных линеаментов подтверждает интерпретация геолого-геоморфологических профилей. Детальные структурно-геоморфологических исследования и эманационная водородная съемка в Чашниковской впадине и обрамляющих ее поднятий (в районе Льлово-Менделеево, Радомли) позволили доказать разрывную природу выделенных здесь линеаментов, к которым приурочены максимумы эманаций водорода. Расположенное к югу Клязьминское долинообразное понижение контролируется субширотными линеаментами, отражающими влияние глубинной структуры фундамента Подмосковного авлакогена.

К северо-востоку от Московско-Дмитровского поднятия выделены вытянутые в северо-восточном направлении Ярославское, Нерехтинское поднятия и изометричное Ивановское с амплитудами 160 – 292 м (Ивановское и Ярославское соответственно). Они нарушены линеаментами северо-восточного и северо-западного, реже субмеридионального простирания (рис. 5). Установлена корреляция линеаментов с протяженными разломами фундамента. Так, в фундаменте Ярославского поднятия прослеживается Ярославский разлом северо-восточного простирания, который на поверхности выражен линеаментом. Восточная граница поднятия также контролируется разломом фундамента. Расположенное восточнее, кулисообразно подходящее к Ярославскому, Нерехтинское поднятие осложняется серией северо-западных линеаментов, которые коррелируют с крупным разломом фундамента. Этот разлом прослеживается далее на юго-восток, где отражается в виде линеаментов новейшего Ивановского поднятия. Простирание

.

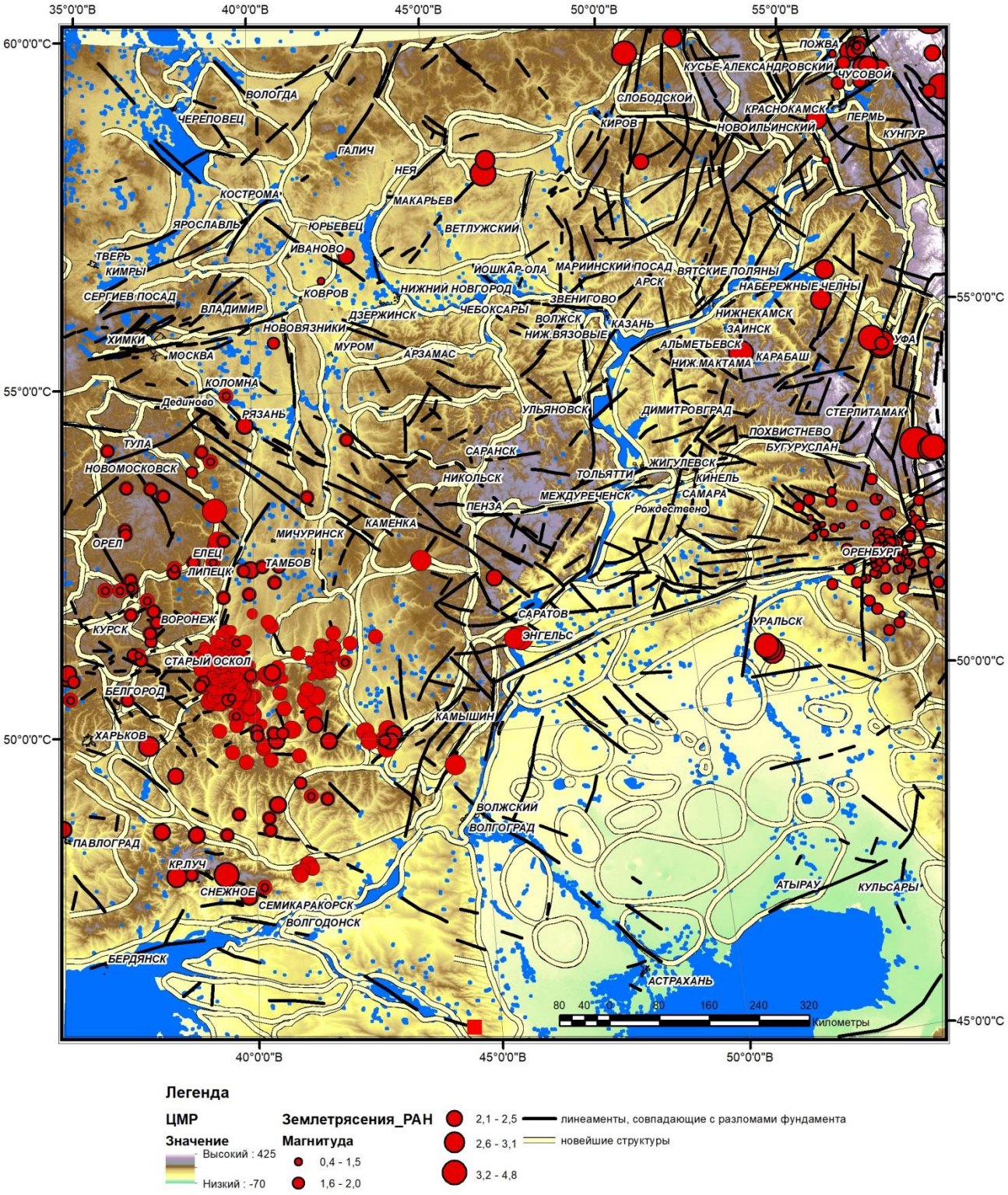


Рис. 5. Схема сопоставления рельефа земной поверхности с поверхностью фундамента: красными кружками показаны эпицентры низкомагнитудных землетрясений

Ярославского и Нерехтинского новейших поднятий, по-видимому, контролируется Тверской ветвью Среднерусского авлакогена северо-восточного простирания.

Расположенное северо-восточнее Галичское поднятие с альтитудами до 250 м, включающее ряд локальных поднятий и впадин также нарушено линеаментами северо-восточного простирания. В целом его северо-восточное простирание коррелирует с разломами фундамента – Великоустюжским и Галичским, что отражает влияние Сухонской ветви Среднерусского авлакогена. Восточнее Ивановского расположено крупное Ветлужское, состоящее из нескольких локальных поднятий, разделенных узкими долинообразными впадинами. Максимальные амплитуды поднятия достигают 190 м. Поднятие нарушено линеаментами северо-восточного, северо-западного и субширотного простирания. Западная и восточная Границы Ветлужского новейшего поднятия и само поднятие контролируется зонами глубинных разломов фундамента. Один из них, Ветлужский, приуроченный к центральной части поднятия, простирается с юго-запада на северо-восток.

Расположенные восточнее, преимущественно субширотные новейшие поднятия нарушены линеаментами северо-восточного и северо-западного простирания, частично коррелируемые с разломами фундамента. Далее к востоку, по мере приближения к Уралу, наряду с северо-восточными, в рельефе проявляются север-северо-восточные и субмеридиональные линеаменты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные структурно-геоморфологические исследования в комплексе с геохимическими съемками, использованием имеющихся на сегодняшний день геолого-геофизических материалов, включая геодинамические показатели новейших процессов (сейсмичность, тепловой поток), позволили во многом по-новому представить новейший структурный план большей части территории Восточно-Европейской платформы в масштабе 1:500 000. Благодаря применению комплекса современных методов и материалов был выявлен сводово-блоковый стиль дислокаций, представляющий собой комбинацию разноранговых поднятий и впадин, нарушенных линеаментами. Линеаменты в нашем представлении это зоны трещиноватости, разрывных дислокаций, часто малоамплитудных и скрытых под чехлом четвертичных отложений. Разрывная природа многих линеаментов подтверждена геолого-геофизическими данными. Некоторые из них маркируются низкомагнитудными землетрясениями (Воронежская антеклиза), характеризуются максимальными значениями эманаций гелия и водорода, к ним приурочены месторождениями углеводородов.

Преобладание поднятий указывает на вовлечение Восточно-Европейской равнины в процесс поднятия на новейшем этапе. Примером является Окско-Донской прогиб, практически весь «заросший» поднятиями, наиболее выразительным из которых является Окско-Цнинский

вал. Другим примером служит Прикаспийская впадина, наиболее прогнутая (до 22 км) по фундаменту структура, которая в современном рельефе осложнена многочисленными разноамплитудными и погребенными поднятиями. Рост структур сопровождается активизацией разрывных дислокаций, к которым приурочены эманации гелия и водорода, проявления сейсмичности. Современная активизация новейших структур подтверждается инструментальными наблюдениями, проведенными в 2000-2012 гг. на станциях GPS Менделеево, Обнинск, Звенигород [Адушкин и др., 2014].

Многие установленные новейшие дислокации являются отражением структур фундамента и чехла. Новейший и древние структурные планы не копируют друг друга, но сохраняются простирания дислокаций, что выражается в морфологии поднятий, наследовании крупных разломов фундамента, их фрагментов или простираний линеаментами. Особая роль принадлежит древним авлакогенам, которые контролируют простирание не только линеаментов, но и довольно часто конфигурацию новейших пликативных структур. Например, границы Чеховского, Калужского, Веневского, Зарайского и Плавского поднятий Среднерусской возвышенности имеют такое же северо-западное простирание, как и Пачелмский авлакоген. Северо-восточный тренд Ярославского, Нерехтинского, Галичского новейших поднятий в области Московской синеклизы совпадает с простиранием глубинных разломов Среднерусского авлакогена. Клязьминское понижение и само субширотное Московско-Дмитровское поднятие сохраняют простирание Подмосковного авлакогена. Авлакогены на новейшем этапе испытывают активизацию, что подтверждается повышенными значениями эндогенного теплового потока в подобных структурах (Ладожский грабен, Галичский и Припятско-Днепрово-Донецкий авлакоген и др.). Новейшие дислокации часто коррелируют с гравитационными и магнитными аномалиями (Прикаспийская синеклиза, Волго-Уральская антеклиза и др.). Корреляция выраженных в рельефе структур с глубинными дислокациями, вплоть до фундамента, указывает на его существенную роль в образовании новейшего плана Восточно-Европейской платформы.

Источниками воздействия на формирование новейших структур являются окружающие древнюю платформу Уральский ороген на востоке и молодая Скифская плита на юге. На это указывают распределение сейсмичности и одинаковые простирания дислокаций в областях сочленения Восточно-Европейской платформы. Доказательством влияния Уральского орогена является субмеридиональное, согласное с ним, простирание новейших дислокаций платформы в районах, прилегающих к Предуральскому прогибу. Скифская плита, испытывающая влияние Большого Кавказа, воздействует на южную часть Восточно-Европейской платформы, что выражается в сходстве простираний их новейших дислокаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адушкин В.В., Санина И.А., Владимирова И.С., Габсатаров Ю.В., Горбунова Э.М., Иванченко Г.Н. Исследование неотектонической активности морфоструктур центральной части Восточно-Европейской платформы с использованием дистанционных методов // Физика Земли. № 2. М., 2014. С.21-28.

2. Горелов С.К. Морфоструктурный анализ нефтегазоносных территорий (на примере юго-востока Русской равнины). М., Наука, 1972. 216 с.

3. Зайцев В.А., Панина Л.В. Неотектоника и геодинамика Скифской плиты // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2011. № 1. С. 3-7.

4. Златопольский А.А. Пакет прикладных программ выделения и анализа линейных элементов аэрокосмических изображений // Автоматизированный линеаментный анализ при структурно-геологических и металлогенических исследованиях. М.: Недра, 1988. С.14-28.

5. Костенко Н.П. Геоморфология. М.: МГУ,1999. 384 с.

6. Макаров В.И. Региональные особенности новейшей геодинамики платформенных территорий в связи с оценкой их тектонической активности // Недра Поволжья и Прикаспия. Вып. 13 (специальный), 1996. С. 53-60.

7. Макарова Н.В., Макаров В.И., Корчуганова Н.И. и др. Окско-Донской прогиб – неотектоническая активная зона Восточно-Европейской платформы // Изв. вузов. Геология и разведка. 2002. № 2. С. 3-13.

8. Мануилова Е.А. Структурно-геоморфологический анализ центральной части Московско-Дмитровского поднятия // Структурно-геоморфологические исследования для решения задач неотектоники и геодинамики. Материалы конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Н. П. Костенко (1915-2005). М.: МГУ, 2015 г. С. 26-28

9. Панина Л.В. Новейший структурный рисунок Скифской плиты // Вестн. Моск.ун-та. Сер. 4. Геология. 2009. № 1. С. 23-31.

10. Панина Л.В., Зайцев В.А. Рельеф северного Прикаспия как отражение деформаций фундамента // Теоретические проблемы современной геоморфологии. Теория и практика изучения геоморфологических систем: материалы XXXI пленума геоморфологической комиссии РАН (5-9 октября 2011 г). Астрахань: Техноград, 2011. С.41-45

11. Панина Л.В., Зайцев В.А. Новейшая тектоника восточной части Воронежской антеклизы // Геологическая среда, минерагенические и сейсмотектонические процессы. Воронеж: Научная книга, 2012. С. 256-260

12. Панина Л.В., Зайцев В.А. Новейшая тектоника Прикаспия // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. № 1. М.: МГУ, 2014. С. 17-23

13. Панина Л.В., Зайцев, В.А., Сенцов А.А., Агибалов А.О. Неотектоника центральной части Восточно-Европейской платформы // Бюлл. МОИП. Отдел геологический. Т. 91, № 4-5. М.: МГУ, 2016. С. 51-60

14. Трегуб А.И. Неотектоника территории Воронежского кристаллического массива. Труды НИИ Геологии Воронежского гос. ун-т. Вып. 9. Воронеж: изд-во Воронежского гос. ун-та, 2002. 220 с.

15. Хисамов Р.С., Файзуллин И.Н., Шарадутдинов В.Ф. и др. Геологическое строение Абдрахмановской площади по данным дистанционных космических методов и полевой эманационной съемки // Нефтяное хозяйство. № 7. М., 2004.С. 40-43

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СДВИГОВЫХ ЗОН РАЗЛИЧНОЙ СЛОЖНОСТИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ УЧАСТКОВ ПОВЫШЕННОЙ ФЛЮИДОПРОНИЦАЕМОСТИ

Фролова Н.С.[1], Кара Т.В. [2], Читалин А.Ф. [3]
[1]*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Россия*
[2]*ООО «Первое ГРП»*
[3]*ООО «Институт геотехнологий»*

Аннотация. Проведена серия экспериментов в различных условиях: сдвига в чехле над двумя разломами фундамента, транстенсии, транспрессии, сдвига в широкой зоне с одновременным движением по нескольким извилистым разломам (с чехлом и без него), а также с реверсным движением по разломам. В качестве эквивалентного материала использовались песок разных фракций (сухой и с добавками), водная паста бентонитовой и каолиновой глины. Результаты экспериментов визуально обработаны, произведено их сравнение с природными структурами Баимской сдвиговой рудной зоны Западной Чукотки. В итоге для моделей различной сложности, в том числе имитирующих упомянутую зону, были получены данные о развитии трещинного структурного парагенеза, его перестройке при развитии деформационного процесса во времени и при перемене знака движения на противоположный. Сделаны выводы о причинах формирования и локализации раскрытой трещиноватости, приуроченности месторождений и рудопроявлений к зонам повышенной флюидопроницаемости.

Ключевые слова: физическое моделирование, сложные сдвиговые обстановки, двухфазная деформация, неоднородность деформируемой среды, трещиноватость, флюидопроницаемость.

1. ВВЕДЕНИЕ

Изучение структурного парагенеза сдвиговых зон имеет большое практическое значение, поскольку со многими из них связаны месторождения рудных полезных ископаемых и углеводородов. Знания о закономерностях структурообразования в сдвиговых зонах, наличии зон сжатия и растяжения, природе и распределении раскрытой трещиноватости трудно получить без физического моделирования. Сдвиговые зоны моделируются уже в течение 90 лет, однако множество проблем остаются нерешенными, например, формирование трещиноватости при двухфазной деформации, которая часто осуществляется в природе. Кроме того, пока никем не воспроизводился трещинный структурный парагенез в широкой сложной сдвиговой зоне с несколькими извилистыми пересекающимися разрывами. Двухфазная деформация осуществлялась нами, в частности, при воспроизведении обстановок транстенсии и транспрессии. Моделирование этих обстановок неоднократно выполнялось в различных лабораториях, но почти исключительно с использованием сухого песка в качестве эквивалентного

материала, имитирующего осадочный чехол; смещение при этом производилось в одну сторону. Мы, кроме сухого песка, применяли таковой с различными добавками, позволяющими изучить развитие мелкой трещиноватости, а также влажную глину.

Следующей задачей, которую мы перед собой поставили, было моделирование широкой сложной зоны сдвига с несколькими извилистыми пересекающимися разломами, с условным чехлом и без него, а также с телами, имитирующими интрузии. В качестве природной модели мы взяли Баимскую сдвиговую зону. Эта региональная медно-порфировая и золотоносная сдвиговая зона расположена на западе Чукотки. Она представляет собой полосу, шириной 20 км и длиной 170 км, простирающуюся с СЗ на ЮВ, расположенную вдоль предполагаемого глубинного разлома, который контролирует размещение рудоносных интрузивов. Гипабиссальные интрузии прорывают смятые в складки вулканогенно-осадочные отложения верхней юры - нижнего мела. Близ поверхности эта зона выражена серией слабоизвилистых, пересекающихся между собой разломов (рис.1).

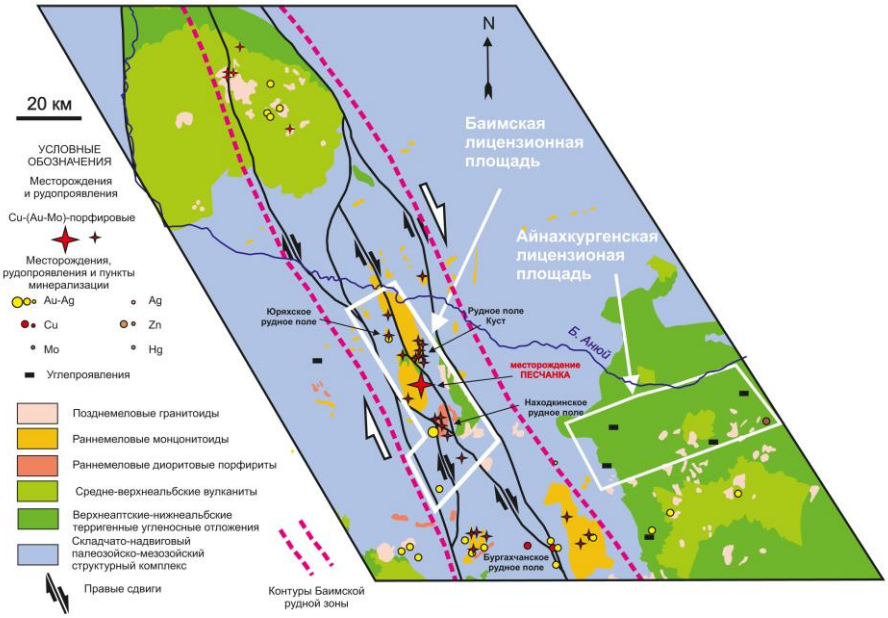


Рис.1. Баимская сдвиговая рудная зона (Читалин и др., 2013)

Баимская зона претерпела сложную деформационную историю. На первом этапе осуществлялись левосторонние движения по серии сдвигов в отложениях верхней юры. На втором этапе произошла смена знака сдвига и внедрение кулисных удлиненных интрузивных тел раннемелового возраста, после чего сдвиговые деформации продолжались еще некоторое время. В течение всех этапов формировались различные структурные элементы сдвигового структурного парагенеза.

Для моделирования в широкой сдвиговой зоне по индивидуальному заказу был изготовлен специальный прибор и разработана методика моделирования.

После выполнения экспериментов проводился их анализ для выяснения особенностей формирования раскрытой трещиноватости, ее изменения на площади и при смене знака перемещения по сдвигам, выявления зон повышенной проницаемости, влияния деформируемой среды на структурный парагенез. Результаты моделирования сопоставлялись также со структурой Баимской рудной зоны и размещением рудопроявлений и месторождений.

2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Моделирование проводилось на приборе для тектонофизического моделирования ВитаЭлектроникс, представляющего собой стол с двумя стенками, одна из которых движется вместе со столешницей (рис.2). Прибор оснащен мотором, позволяющим устанавливать скоростной режим в широких пределах. В наших экспериментах скорость движения составляла около 3 см/час, реже больше . К столу крепились различные приспособления, как довольно простые, так и более сложные, предназначенные для моделирования сдвиговой обстановки в широкой зоне.

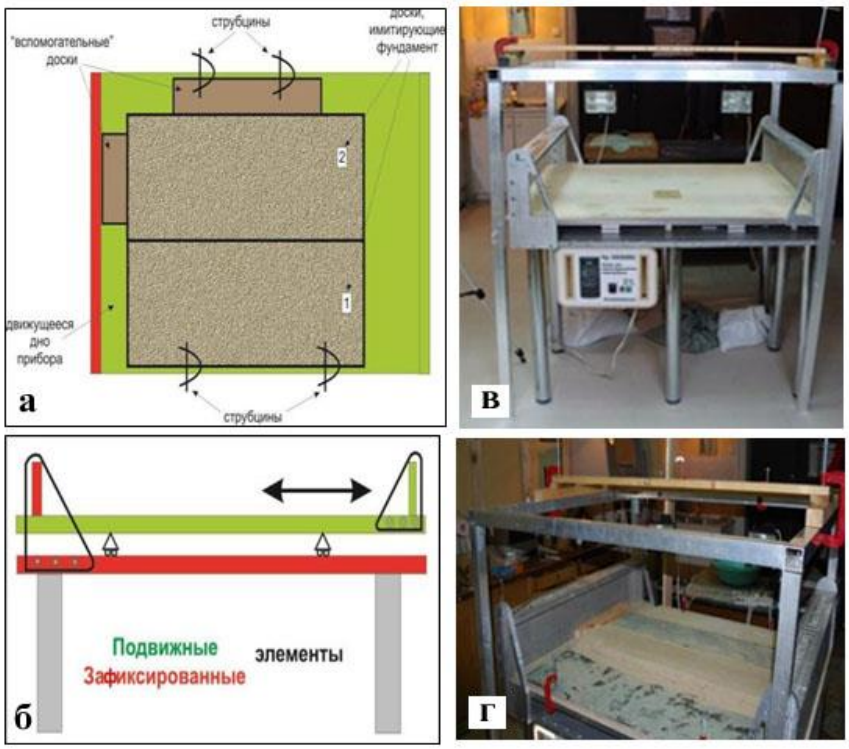


Рис.2. Прибор для тектонофизического моделирования в лаборатории тектонофизики и геотектоники геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова: а – схема прибора, вид сверху; б – то же, вид сбоку; в – общий вид прибора; г – прибор с помещенным в него образцом.

В качестве эквивалентных материалов, имитирующих осадочный чехол, использовались:

1. Песок. Сухой песок широко применяется в настоящее время за рубежом для моделирования верхних частей земной коры. Показано, что этот материал отвечает условиям

подобия (Naylor et al., 1986; Dooley, Schreurs, 2012). Для того, чтобы трещины были более четкими и для изучения наиболее мелкой трещиноватости, мы к песку добавляли небольшое количество воды (2-3%), или вазелинового масла, или солидола (около 1%), . Необходимость таких добавок объясняется влиянием жидкости или другой смазки на сцепление. Между смоченными частицами песка возникают силы молекулярного притяжения и капиллярного давления, что увеличивает статическое сцепление (когезионную прочность) песка. В случае динамического сцепления, то есть смещения по уже образованному разрыву, жидкость начинает играть роль смазки, снижая динамическое трение (Трение…2016). Формирование разрывов происходит в более узкой зоне, они имеют более чёткую форму и начинают раньше проявляться, как видимые для глаза разрывы. Поэтому такие модели из песка являются весьма информативными. Правомерность использования песка с вазелиновым маслом с точки зрения условий подобия показал А.Н. Бокун (2008).

2. Глина – бентонитовая и каолиновая – разной влажности. Возможность ее применения для целей физического моделирования показана многими исследователями (Белоусов, Гзовский, 1964; Стоянов, 1977; Борняков и др., 2014; Atmaoui et al., 2006).

Для фиксирования результатов экспериментов производилась автоматическая съемка модели каждые 30 или 60 сек. Затем было проведено визуальное дешифрирование фотографий с выделением трещин разных рангов и раскрытости и анализ полученной картины.

3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

3.1. Моделирование структурообразования в чехле над двумя разломами фундамента или одним разломом с коленообразными изгибами

3.1.1. Условия экспериментов

Моделирование проводилось на приборе, описанном выше. Дополнительно использовались разные приспособления для имитации фундамента в зависимости от целей эксперимента: (а) три доски, скрепленные таким образом, что могло осуществляться движение сразу по двум «разломам фундамента»; (б) пластины из пластика, фигурно вырезанные, с бортами из брусков и без них, с поверхностью, покрытой гравием либо шипованным материалом. Эти приспособления частично крепились к столешнице прибора так, что имелась возможность сдвига одной части приспособления относительно другой. Пластины и доски имели длину 0,8-1,0 м. Скорость перемещений одной пластины относительно другой в этой серии экспериментов преимущественно составляли 3,0 см/час. Такие скорости часто указываются также в зарубежной литературе по моделированию и считаются приемлемыми.

В качестве «чехла», залегающего на фундаменте, использовалась каолиновая глина (чаще всего 40% влажности) и песок разных фракций (0,1-0,5 мм, 0,4-0,6 мм и 0,5-0,8 мм). Песок использовался как сухой (обычно мелкозернистый), так и с небольшой примесью солидола, вазелинового масла или воды. Мощность чехла в разных опытах составляла 3 или 4,5 см.

3.1.2. Результаты экспериментов

3.1.2.1. Простой сдвиг в чехле над двумя параллельным разломам фундамента

Подобные эксперименты с чехлом из сухого песка были проведены В.П. Шеллартом и Д.А. Ньюландом (Schellart, Nieuwland, 2003). Они показали, что если мощность чехла превышает расстояние между разломами в фундаменте примерно в два раза, формируется зона сдвига с извилистыми пересекающимися разрывами в чехле. Мы провели сходные эксперименты, подбирая соотношение указанных мощности и расстояния таким образом, чтобы получилась структура, напоминающая сложную систему сдвигов Баимской зоны. В одном из опытов нам это удалось. Осуществлялся одновременный сдвиг по двум параллельным разломам «фундамента, расположенным на расстоянии 2 см друг от друга. В качестве чехла служил сухой песок 0,1-0,5 мм, мощностью 4,5 см. Отношение расстояния между разломами в фундаменте к мощности чехла S/M =0,44. Сдвиг правый. Скорость 4 см/час. Максимальное общее смещение 4,8 см.

Развитие структуры показано на рис. 3. Вначале формируются эшелонированные сколы Риделя, а затем к ним добавляются сдвиги, ориентированные под небольшим углом к направлению сдвигания.

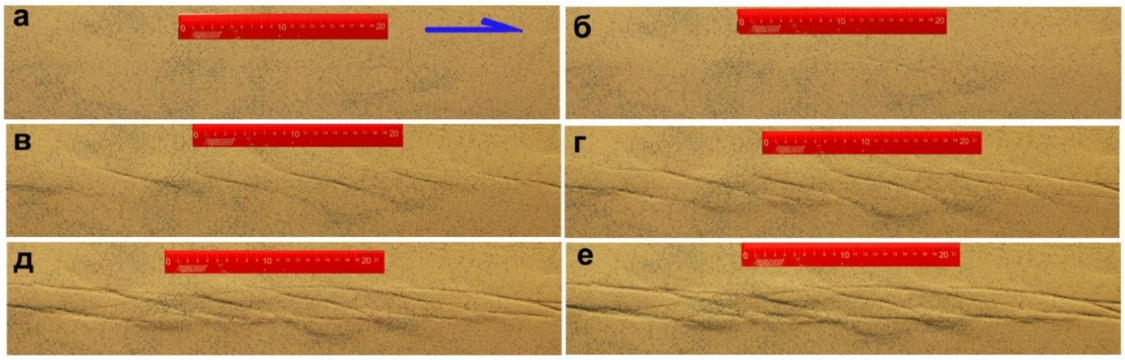


Рис.3. Развитие структурного парагенеза в опыте Б11/2017. Песок сухой, мелкий. Видно постепенное развитие сети слабоизвилистых пересекающихся разрывов.

Сравнение сети разрывов, полученных в эксперименте, с системой сдвигов Баимской зоны показано на рис. 4.

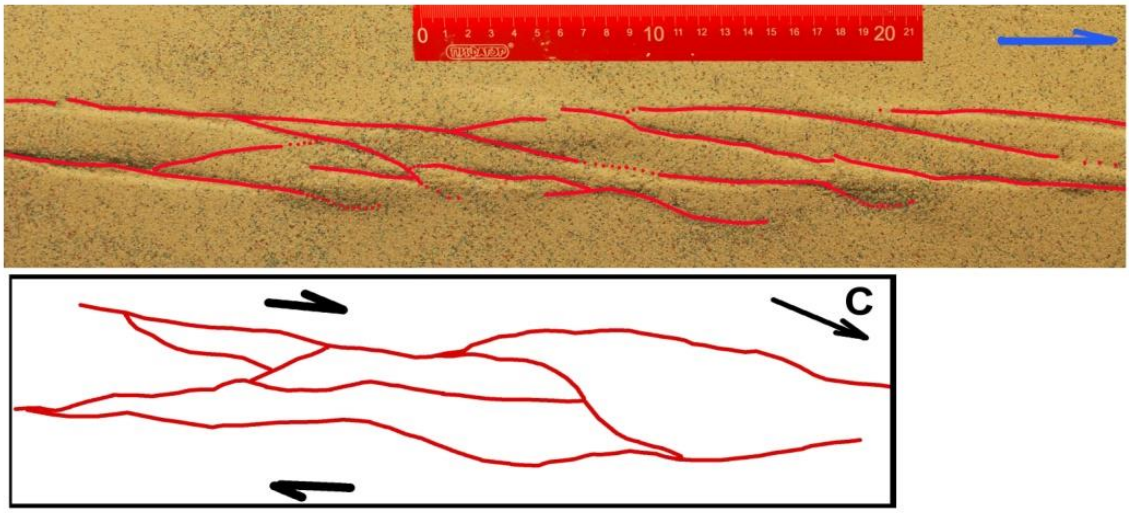


Рис. 4. Вверху – сетка разрывов, сформированая в опыте Б11/2017 (фрагмент), внизу схематично показаны разрывы Баимской сдвиговой зоны.

Кроме сухого песка, мы использовали таковой с добавками, а также глину. В этих экспериментах можно рассмотреть трещиноватость с точки зрения потенциальной флюидопроницаемости. Так, в опыте Б10/2017 (рис.5) последняя обусловлена мелкими трещинами отрыва, которые при развитии деформации объединяются в пологие, ориентированные под небольшими углами к направлению сдвига, зоны деструкции. По мере нарастания деформации увеличивается раскрытость отдельных их участков. В этом опыте чехол имел мощность 6 см, а расстояние между разрывами составляло 2 см (S/M =0,33).

Рис.5. Зона сдвига в чехле из крупнозернистого песка с солидолом над двумя параллельными близкорасположенными разломами фундамента. На поверхности видны раскрытые трещины, которые могут обусловить повышенную флюидопроницаемость. Опыт Б10/2017.

В опыте с чехлом из влажной глины мощностью 4 см, расположенном над двумя параллельными разломами фундамента с расстоянием между ними 2 см, образовалась (в отличие от опытов с песком) единая сдвиговая зона (рис.6). Здесь сформировалась система хорошо заметных R-сколов, а также система крутых R’-сколов. Раскрытыми являются лишь первые; местами происходит приоткрывание на участках пересечения двух систем сколов. Следует заметить, что R’-сколы ни в одном эксперименте не обеспечивают сколько-нибудь значимую раскрытость трещин, а значит и флюидопроницаемость. Это объясняется тем, что такие сколы

поворачиваются после своего формирования, достигая угла 45° с осью максимального сжатия, а затем и превышая его, что приводит к прекращению движения по этим сколам и «схлопыванию» их.

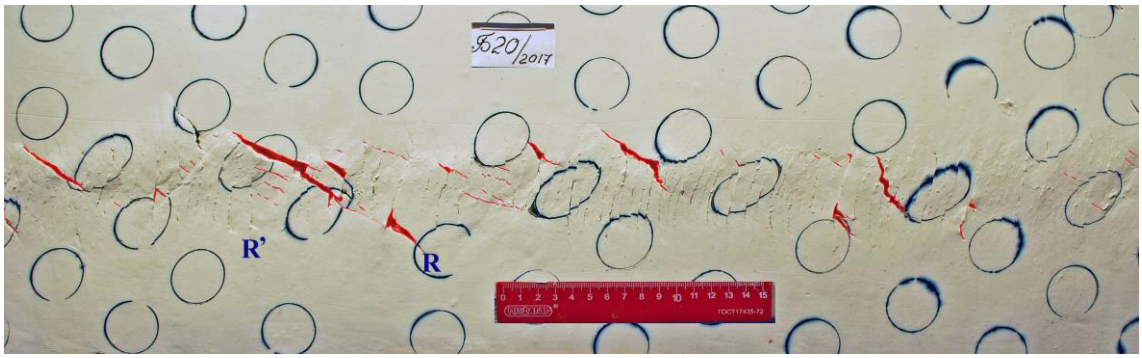


Рис. 6. Опыт Б20/2017. Сколы R (пологие, показаны красным цветом) и R' (крутые) в зоне сдвига над двумя близкорасположенными разломами фундамента. Чехол – влажная глина.

3.1.2.2. Сдвигание в условиях транстенсии и транспрессии

Такие опыты неоднократно проводились за рубежом, но с использованием только сухого песка, что не позволяет исследовать открытую трещиноватость. Кроме того, мы моделировали сдвиг со сменой знака перемещения.

В наших экспериментах в качестве фундамента служили две тонкие пластины из пластика, разрезанные по ломаной линии так, что в одной части имела место обстановка транстенсии, а в другой – транспрессии (рис.7). Модификация модели: пластина разрезалась по плавной кривой линии, конфигурация которой соответствовала таковой центрального разлома Баимской сдвиговой зоны. Чехол изготавливался из влажной глины, сухого песка и песка со связующими добавками.

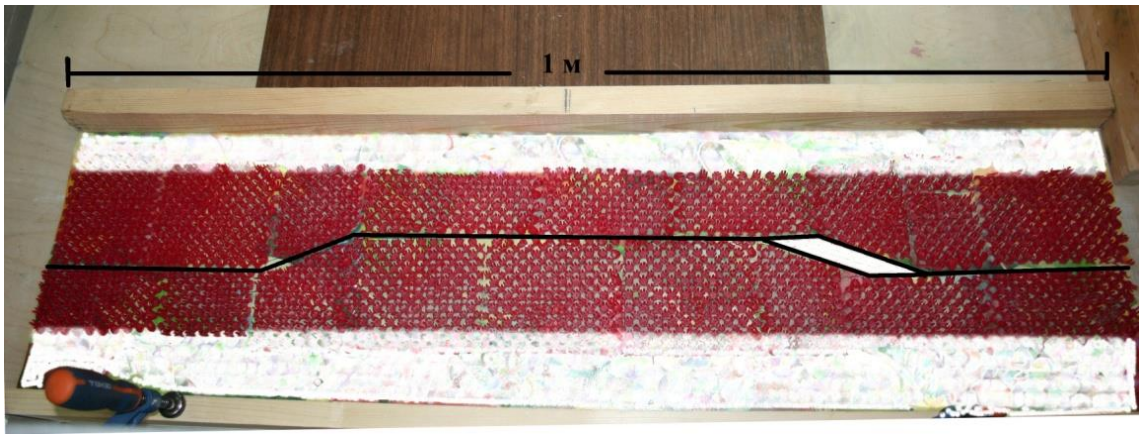


Рис. 7. Приспособление для одновременного моделирования транстенсии и транспрессии

В чехле из сухого песка (рис. 8) формируются впадины пулл-апарт (слева), ограниченные ступенчатыми сбрросами, и поднятия поп-ап (справа), ограниченные взбросами, однако разрывы

не имеют четкого выражения. Для того чтобы увидеть мелкие трещины, к песку (фракция 0,3-0,6 мм) был добавлен солидол (опыт Б17/2017).

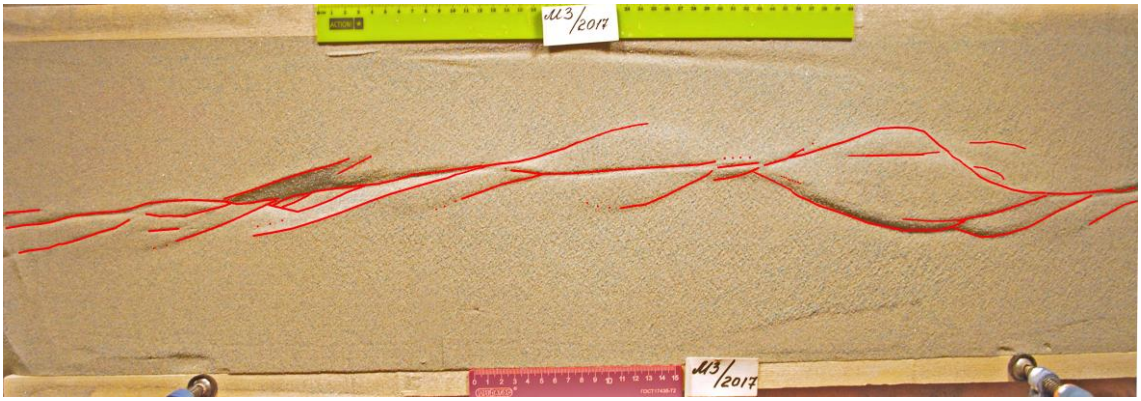


Рис.8. Структуры транстенсии (слева) и транспрессии (справа) в сухом мелкозернистом песке. Опыт М3/2017

Чехол из песка с солидолом. Мощность чехла в этом опыте была такой же, как и в только что описанном – 4 см. Во время первой фазы деформации (левый сдвиг) проницаемость может быть обусловлена тем, что крупные разрывы формируются из множества мелких трещин отрыва. Распределение трещин по площади в зоне сдвига неравномерное, вначале они образуются в окрестностях зоны транстенсии, а затем в зоне транспрессии. Поскольку в песке с солидолом повышено сцепление, на месте пологой впадины пулл-апарт образуется провал с зиянием. Поднятия в зоне заранее заданной транспрессии, а также сформировавшиеся между крупными сколами Риделя, окаймляются трещинами, которые можно назвать сдвиго-взбросами, – они тоже состоят из мелких зияющих трещинок (рис. 9).

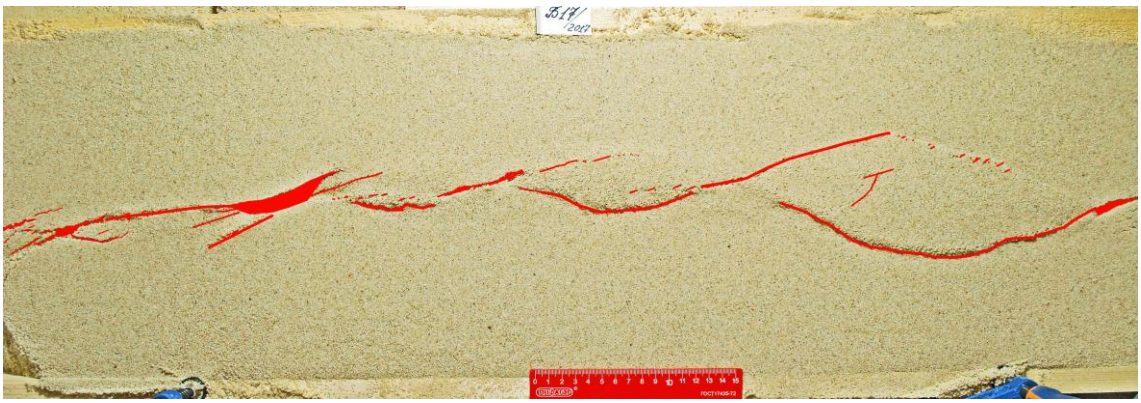


Рис. 9. Развитие трещиноватости в обстановках транстенсии (слева) и транспрессии (справа). Левый сдвиг. Опыт Б17/2017.

Во время второй фазы деформации (правый сдвиг) на месте впадины растет поднятие, а высота бывшего поднятия уменьшается. Появляются новые зоны деструкции, находящиеся как рядом с теми же зонами, в которых формировались трещины предыдущей фазы, так и в других местах. Эти зоны также состоят из мелких трещин отрыва, при этом ранее образовавшиеся

трещины никуда не исчезают. Общее количество раскрытых трещин увеличивается, причем за счет развития мелкой трещиноватости (рис. 10).

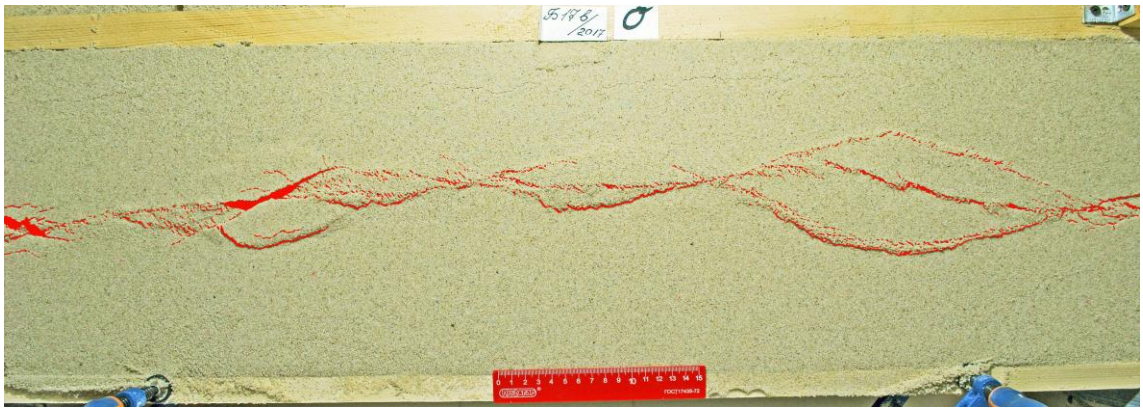


Рис. 10. Вторая фаза деформации – правый сдвиг. Зоны трансенсии и траспрессии меняются местами. Увеличивается количество мелких трещин. Опыт Б17/2017

Чехол из влажной глины. В таких опытах деформационная структура сильно отличается от той, которая формируется в опытах с песком; это хорошо видно на примере опыта Б22/2017. Здесь использовалась глина каолиновая, влажностью 40%, мощностью 4 см. На первом этапе сдвигания (левый сдвиг) прежде всего появляются открытые трещины отрыва в зоне транстенсии, затем из мелких сколов постепенно формируются и раскрываются немногочисленные крупные сколы Риделя, которых нет в зоне транспрессии (рис.11). На втором этапе деформации (правый сдвиг) крупные зияющие трещины частично закрываются, но зато развиваются редкие трещины отрыва, расположенные между сколами Риделя. Общая площадь открытой трещиноватости остается примерно той же (рис. 12).

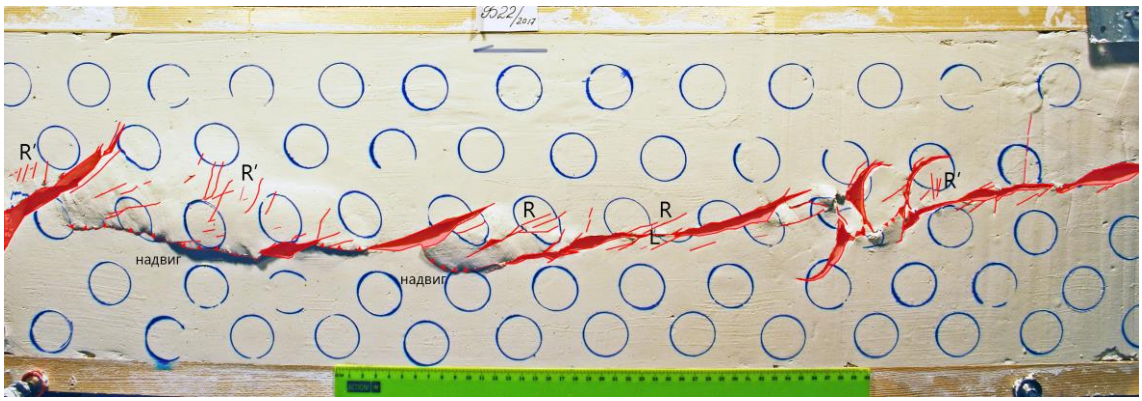


Рис.11. Трещиноватость, сформировавшаяся в результате левого сдвига. Справа – зона транстенсии, слева – транспрессии. ОпытБ22/2017

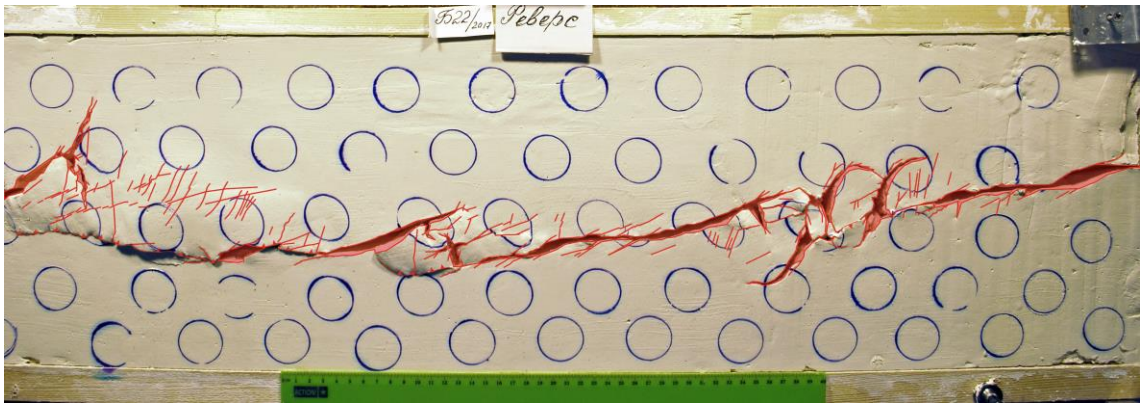


Рис. 12. Перестройка трещиноватости на втором этапе деформации (правый сдвиг) в опыте Б22/2017.

Поскольку природным примером для нашего моделирования служила, как уже говорилось, Баимская сдвиговая зона (см. рис. 1), мы провели эксперименты, в которых имитировали сдвиг вдоль главного центрального разлома (Егдыгкычский региональный сдвиг – на рис.1 он пересекает самую крупную интрузию) упомянутой зоны. Как видно, этот разлом имеет извилистые очертания, следовательно, при сдвигании должны сформироваться зоны транстенсии и транспрессии и соответствующие им структуры – пулл апарт и поп-ап (рис.13).

Рис. 13. Структуры пулл-апарт и поп-ап, сформировавшиеся при левом сдвиге вдоль криволинейного разлома, аналогичного центральному разлому Баимской зоны (опыт Б7/2017). Чехол – сухой песок 0,1-0,5 мм.

Хотя при моделировании с использованием сухого песка очень хорошо видно деформационную структуру (см.рис.13), для анализа раскрытости трещин и изменения последней при изменении направления движения по сдвигу необходимо использовать либо песок со связующими добавками, либо влажную глину. В качестве примера можно рассмотреть результат опыта Б8/2017, в котором в качестве чехла использовалась влажная каолиновая глина (рис. 14).

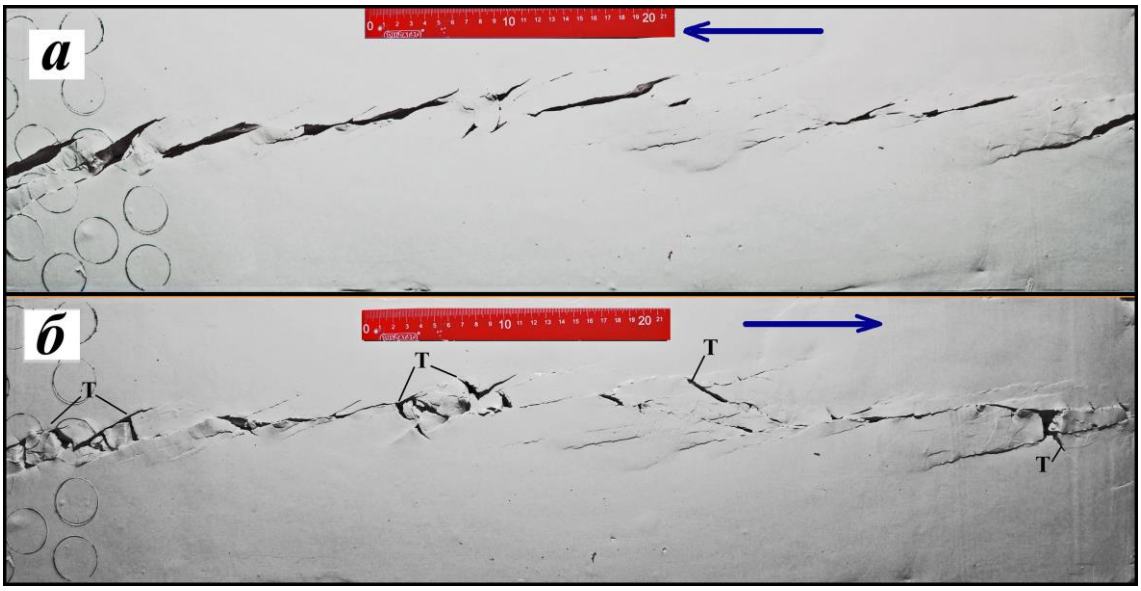


Рис.14. Структура, сформировавшаяся в чехле из каолиновой глины (влажность 38%, мощность 4 см) в условиях двухфазной деформации: а – левый сдвиг, б – правый сдвиг. Опыт Б8/2017. Скорость сдвигания 3,5 см/час. Фундамент такой же, как в опыте Б7/2017

Во время первой фазы деформации (левый сдвиг) сформировались слабо выраженные поднятия и впадины на тех же участках, что и в опыте Б7/2017 (см. рис. 13), а также отчетливо видимые раскрытые трещины. Это либо сколы, ориентированные под углом около 15° к направлению сдвига (сколы Риделя), либо сдвиго-раздвиги, ориентированные под углами 30-40° и развитые в зонах транстенсии (рис. 14а). Во время второй фазы деформации (правый сдвиг), раскрытость описанных выше трещин уменьшается, но появляются новые. Это либо редкие сколы Риделя, либо, чаще, трещины отрыва. Последние формируются исключительно между более ранними сколами Риделя и ориентированы под углами 30-70° к направлению сдвига (рис.14б). Таким образом, в эксперименте общая раскрытость трещин не сильно отличается во время первой и второй фазы деформации, но связана эта раскрытость с развитием различных по кинематике структур. Участки концентрации трещин второй фазы могут, совпадать, а могут и не совпадать с участками максимальной раскрытости трещин первой фазы.

3.2. Моделирование широкой сдвиговой зоны с несколькими пересекающимися разломами

Известно несколько серий экспериментов по моделированию сдвига в широкой зоне, однако в них воспроизводился лишь однородный сдвиг. Наиболее известными являются эксперименты Г. Шреурса (Schreurs, 2003). Только в 2016 г. появилась публикация, в которой сдвигание осуществлялось по нескольким *прямолинейным* непараллельным разломам фундамента. Авторы анализировали структурный парагенез, формирующийся в чехле из глины над этими разломами (Черемных и др., 2016). Однако в природе существуют зоны с несколькими *криволинейными разломами*, такие как Баимская сдвиговая зона. Чтобы воспроизвести

деформации в такой зоне, надо было сконструировать специальный прибор и предложить соответствующую методику моделирования.

3.2.1. Условия экспериментов

Прибор, изготовленный для осуществления моделирования в широкой зоне, напоминает прибор Г Шреурса (Schreurs, 2003), отличаясь от него несколькими конструктивными особенностями. На широкую доску помещается прямоугольный короб из четырех брусков, которые могут поворачиваться друг относительно друга, образуя параллелограмм (рис.15). В короб вложена рейка, которая с помощью «бегунков» может перемещаться вправо или влево. На дно короба уложена 31 плексигласовая рейка, каждая шириной 1 см. Пакет из реек ограничен стенками короба и рейкой с бегунками. Таким образом, при сдвигании ширина зоны с рейками не меняется. Эта конструкция крепится к основному прибору для тектонофизического моделирования: продольный брусок струбцинами к столешнице, а один из противоположных углов - к неподвижной стенке прибора (с возможностью перемещения вдоль нее). Таким образом, достигается возможность равномерного сдвигания всей зоны в одном, а затем и в противоположном направлении Размеры панели с рейками: длина 88,5 см и ширина 31 см.

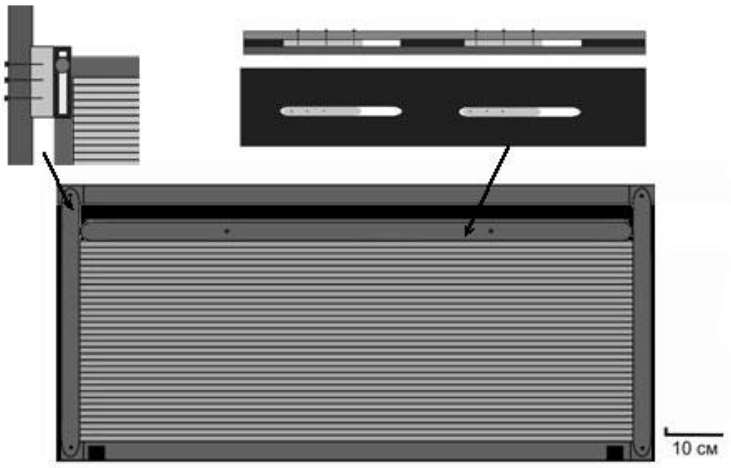


Рис.15. Специальный прибор, предназначенный для моделирования в широкой зоне.

На рейки помещается слой силикона или эластичного силиконового герметика, а выше – образец из влажной глины, в котором по трафарету прорезаются разрывы, аналогичные разрывам исследуемой зоны, в данном случае Баимской. Если предусматривается двухслойная модель (фундамент и чехол), нижний слой изготавливается из вязкой глины, а верхний – из менее вязкой.

3.2.2. Сдвиг по нескольким разрывам в однослойном образце

В этих экспериментах не предусматривалось разделение на чехол и фундамент. На основание из реек, покрытых силиконом, помещался образец из влажной каолиновой глины, на глину клался трафарет, по которому тонким ножом, смазанным машинным маслом, образец

разрезался на блоки. Затем производился сдвиг – сначала левый, затем правый. Структура, сформированная в результате деформации, показано на рис. 16.

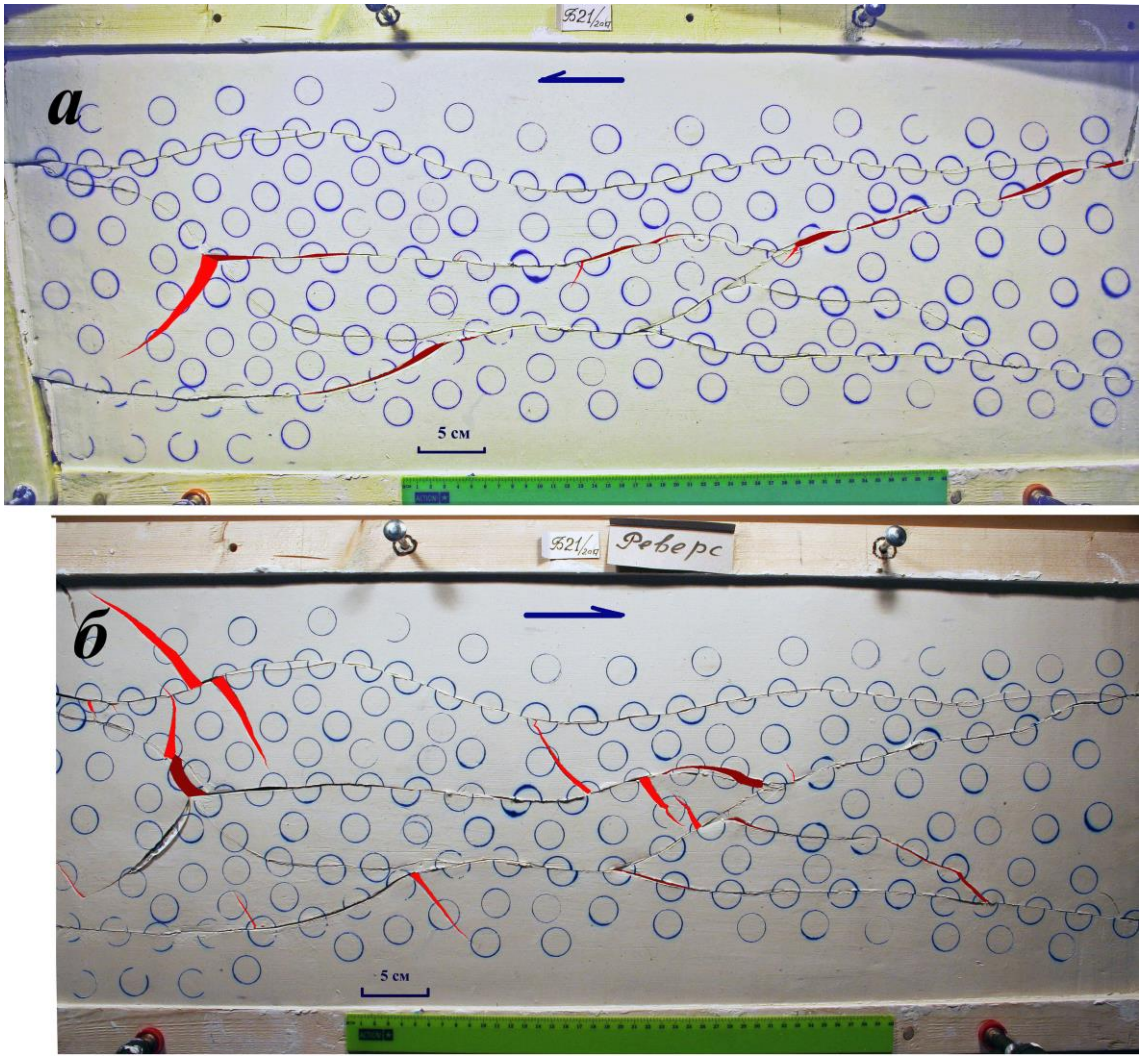


Рис.16. Структура в образце из каолиновой глины (влажность 40%, мощность 3 см), полученная в результате двухфазной деформации: а – левый сдвиг, б – правый сдвиг. Опыт Б21/2017. Скорость смещения 3,25 см/час.

При левом сдвиге формировались преимущественно зияния – пулл-апарты – на участках коленообразного изгиба сместителей. При смене знака перемещения (правый сдвиг) эти пулл-апарты закрылись, но возникли новые – на других, благоприятно ориентированных, участках изгибов разломов. Появились также трещины отрыва на тех участках, где смещение по сдвиговым разломам вправо было затруднено. В центре модели наблюдается концентрация структур, связанных с растяжением. В природе, в аналогичном месте, имеется интрузивное тело (см. рис.1); возможно, оно внедрялось как раз в указанную зону декомпрессии.

Одной из модификаций только что описанного эксперимента является эксперимент с введенными в образец из влажной глины неоднородностями, которые в данном случае имитируют интрузивные тела Баимской сдвиговой зоны (см. рис.1). В эксперименте тела помещались в

образец из глины после осуществления левого сдвига, т.е. перед началом сдвигания в противоположном направлении. Представления о времени внедрения интрузий основаны на геологических данных (Читалин и др., 2013). Во время первой фазы деформации осуществлялись преимущественно сдвиговые перемещения по заданным разрывам с формированием узких структур пулл-апарт на участках с компонентой растяжения. Сформировались также редкие слабо развитые сколы Риделя и несколько трещин отрыва (рис.17). После введения имитирующих интрузивные массивы тел из пластилина и осуществления второй фазы деформации – правостороннего сдвига – деформационная картина меняется (рис. 18). Появляется множество трещин отрыва и зияний. Прежде всего они связаны с тенями давления интрузий. Кроме того, трещины отрыва развиваются на тех участках заранее прорезанных разрывов, где правостороннее смещение затруднено (эти отрезки наклонены в сторону, противоположную сдвиганию). Все описанные структуры являются флюидопроницаемыми зонами, с которыми связаны многие (но не все) месторождения и рудопроявления; некоторые из них показаны точками на рис. 18. Часть месторождений и рудопроявлений приурочена к разрывам в природных интрузивных телах, имеющих такую же ориентировку, как трещины отрыва вне тел, имитирующих интрузии, в модели. Отсутствие трещин отрыва в телах из пластилина, имитирующих интрузивные тела, связано со свойствами пластилина; для указанных тел необходимо подбирать хрупкий материал, в котором и могли бы возникнуть указанные трещины. Это и предполагается осуществить в дальнейшем.

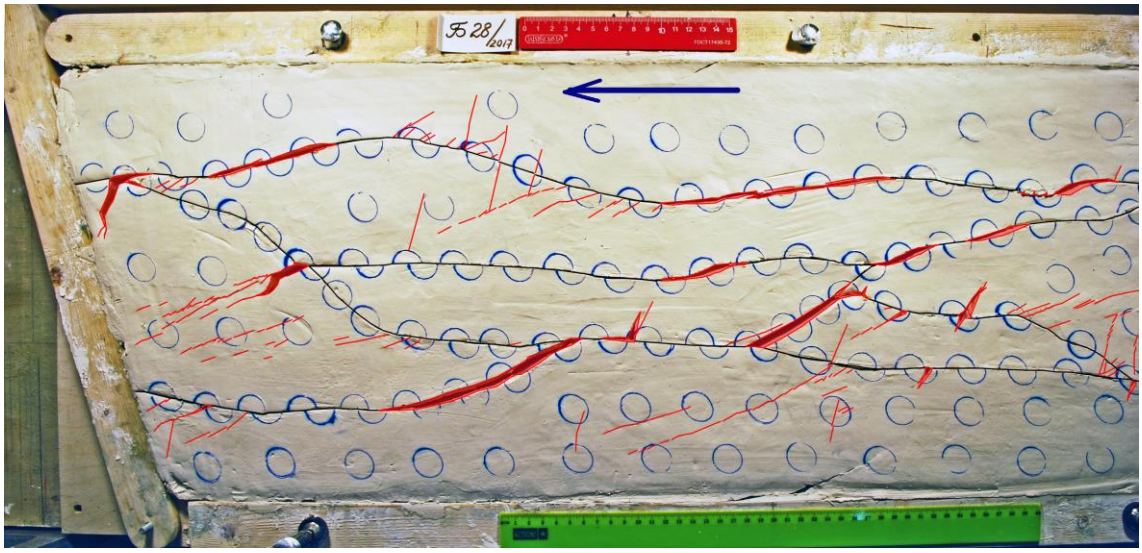


Рис.17. Структура в образце из влажной каолиновой глины (37% влажности и 3 см мощности), сформированная к концу первой фазы деформации – левого сдвига. Опыт Б28/2017.Скорость смещения 6 см/час.

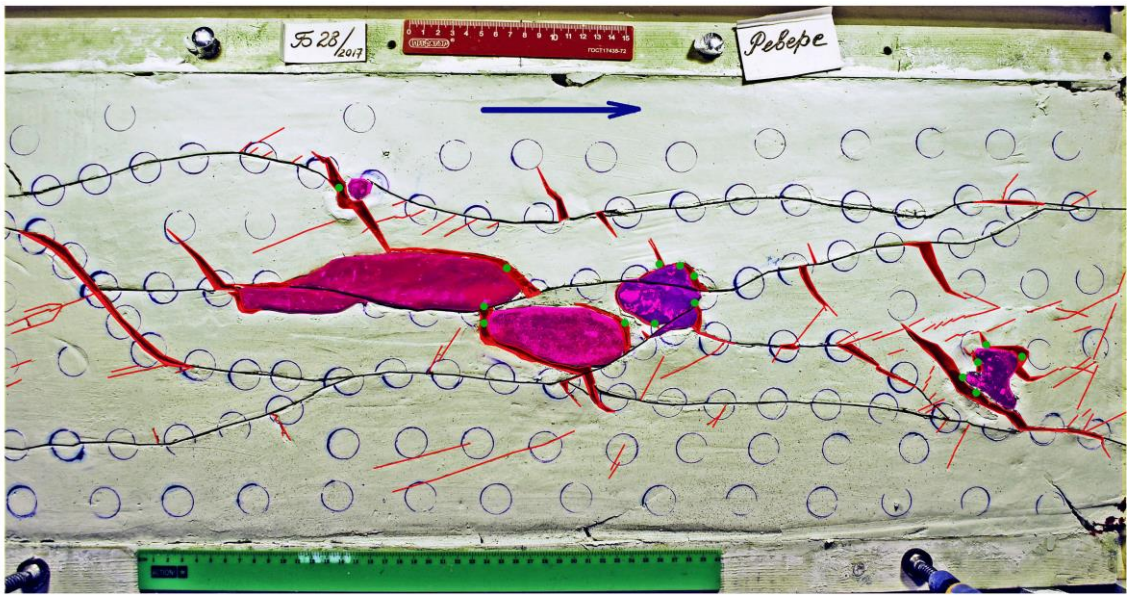


Рис.18. Структура, сформированная в образце с неоднородностями в виде вязких тел к концу второй фазы деформации – правого сдвига. Опыт Б28/2017.

3.2.1.3. Сдвиг по серии разрывов в двухслойном образце.

Эта серия экспериментов аналогична предыдущей, с той разницей, что образец, залегающий на основании из плексигласовых реек, состоял из двух слоев. Нижняя часть изготавливалась из вязкой (25% влажности) бентонитовой глины и служила условным фундаментом. Мощность этого фундамента составляла 3,5 см; в нем по трафарету прорезались разрывы, аналогичные таковым Баимской сдвиговой зоны. Верхняя часть состояла из однородной каолиновой глины или песка и служила условным чехлом. Деформация была одно- или двухфазной.

<u>Эксперимент с однофазной деформацией</u>. На описанном выше «фундаменте» залегал «чехол» из каолиновой глины 40 % влажности мощностью 3,5 см. Производился левый сдвиг со скоростью 2,7 см/час. Результат эксперимента показан на рис. 19.

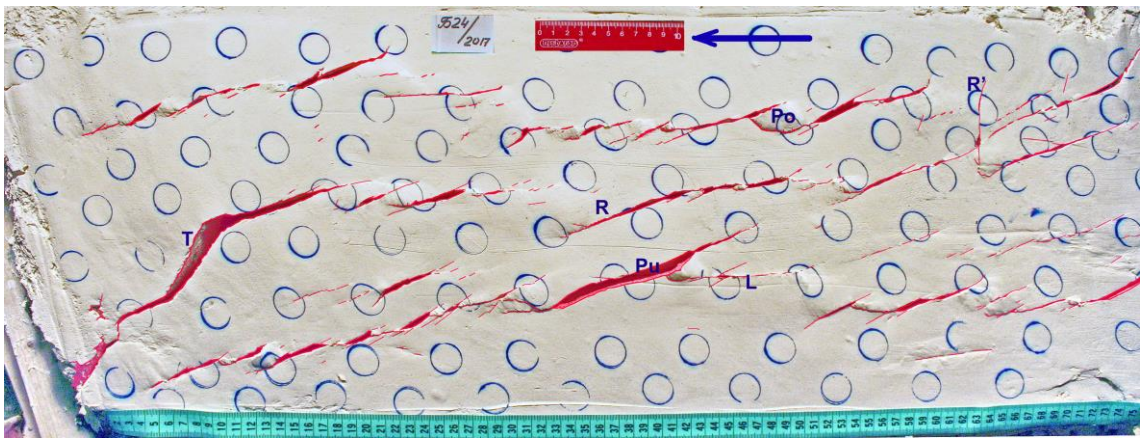


Рис.19. Структурный парагенез, сформировавшийся в чехле из глины над несколькими криволинейными сдвигами фундамента. Левый сдвиг. Опыт Б24/2017

По окончании эксперимента на поверхности образца можно видеть кулисообразно расположенные сколы Риделя. Некоторые из них представляют собой зияющие трещины, которые можно назвать пулл-апартами, по кинематике – это сдвиго-раздвиги; каждый из них формировался в локальной обстановке транстенсии (Pu на рисунке). Между сколами образовались поднятия, некоторые из них с одной стороны ограничены надвигами. Эти поднятия можно назвать структурами поп-ап, все они формировались в локальной обстановке транспрессии (Po на рисунке). Наблюдаются также редкие трещины R' и L. На рис. 19 видно, что сколы Риделя образуют несколько зон сдвига более высокого порядка, чем вся модель, т.е. кулисообразно располагаются вдоль нескольких направлений (рис.20в). Вероятно, эти мелкие зоны сдвига располагаются над разломами «фундамента». На рис.20б показан результат опыта Б23/2017, в котором сдвигание блоков очень вязкой глины производилось без чехла – точно такой же «фундамент» имел место и в опыте Б24/2017. Рисунок 20а показывает относительную амплитуду смещения блоков вдоль «разломов». Можно заметить, что цепочки сколов Риделя формировались над теми участками, по которым происходило ненулевое смещение.

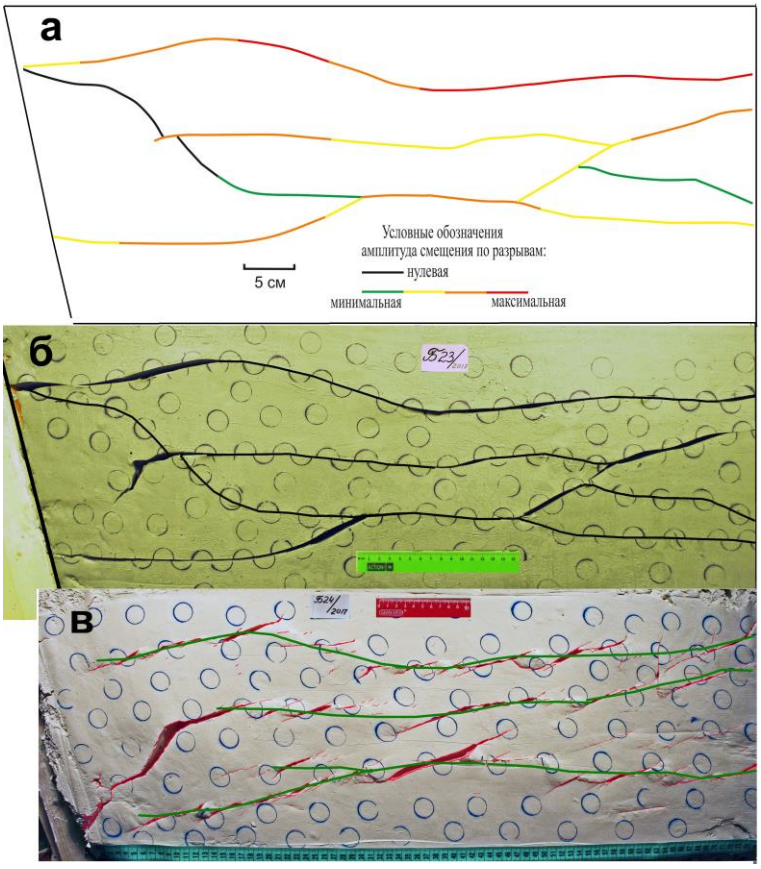


Рис. 20. Сравнение распределения сколов Риделя в пространстве (в), конфигурации «разломов в фундаменте» (б) и амплитуды смещения по этим разломам (а)

Эксперимент с двухфазной деформацией. Условия этого эксперимента сходны с предыдущим, за исключением того, что скорость сдвигания была намного больше (7,3 см/час), а

величина горизонтального смещения чуть меньше (11, а не 14 см). Вначале был осуществлен левый сдвиг (рис.21а), а затем правый – с такой же амплитудой (рис.21б).

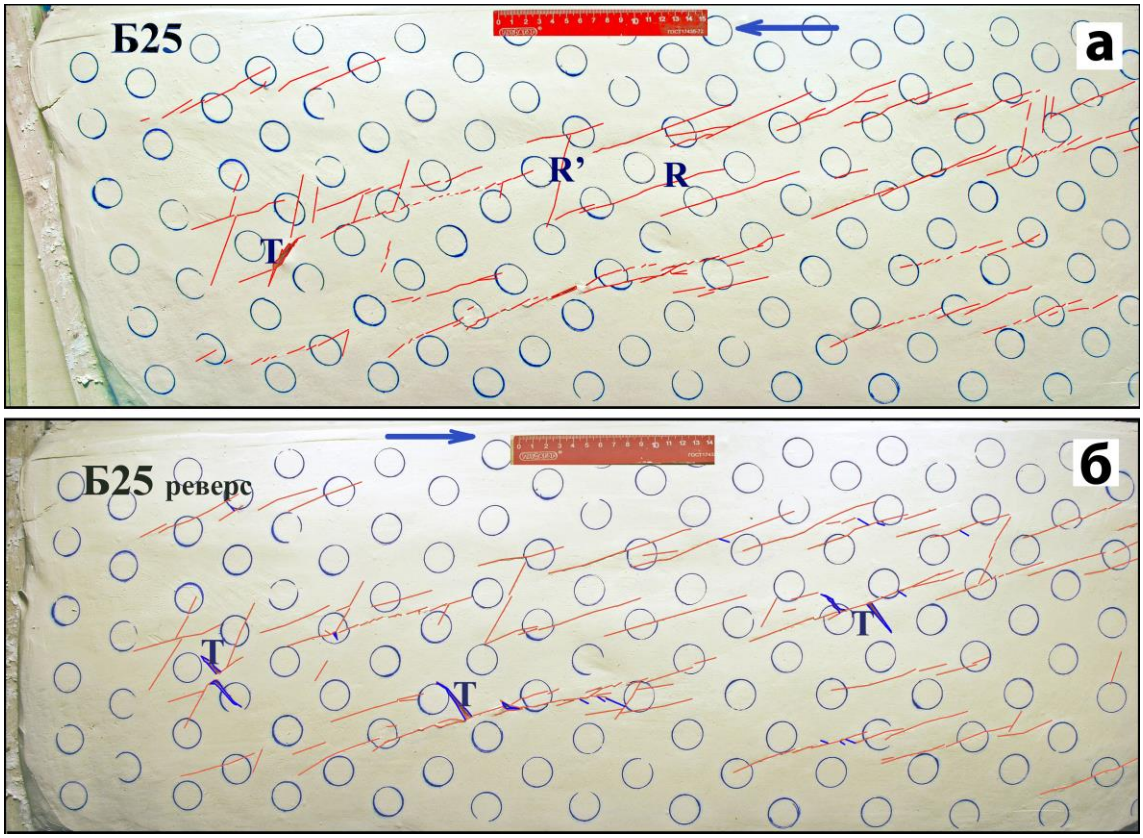


Рис.21. Развитие трещин во время левого (а), а затем правого (б) сдвига. Опыт Б25/2017.

Во время первой фазы деформации образовались серии R-сколов и, в меньшей степени, R'-сколов. Эти сколы распределены на поверхности образца, так же, как и в опыте Б24/2017, в соответствие с разломами нижележащего фундамента. Как видно из сравнения рисунков 20 и 21, в опыте Б25/2017 сдвиговые зоны находится на более ранней стадии развития, чем в опыте Б24/2017. Это связано с меньшим смещением и, вероятно, намного большей скоростью сдвигания. Во время второй фазы деформации структурный парагенез изменился не очень сильно: появилось несколько мелких сколов Риделя и несколько хорошо заметных трещин отрыва между сколами Риделя первой генерации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного нами моделирования и анализа полученных результатов можно сделать следующие основные выводы:

1. Происхождение раскрытой трещиноватости, с которой связана флюидопроницаемость, существенно различается в гранулированном материале (песок) и глине. В песке при ничтожном смещении зарождаются цепочки трещин отрыва, которые затем превращаются в широкие зоны деструкции. Во влажной глине деформация сдвига может вообще не приводить к формированию

трещин отрыва. Раскрытие трещин связано, прежде всего, со сдвиговыми перемещениями вдоль неровных границ сколов Риделя, которые развиваются путем объединения кулисообразных мелких трещин скалывания. После образования крупных трещин без перемычек осуществляется их дальнейшее раскрытие под действием составляющей растяжения, которая существует в зоне сдвига.

2. При смене знака движения по прямолинейным или криволинейным сдвигам в фундаменте происходит частичное закрытие ранее образованных трещин, но при этом формируются новые. В таком эквивалентном материале, как влажная глина, во время второй фазы деформации формируются трещины отрыва, которые обычно не возникают во время первой фазы. Если модель представляет собой систему чехол-фундамент, то трещины отрыва располагаются между ранними сколами Риделя. В целом, потенциальная флюидопроницаемость увеличивается.

3. Создан оригинальный прибор для моделирования в широкой зоне и разработана методика проведения экспериментов с одновременным сдвиговым перемещением вдоль извилистых пересекающихся границ блоков фундамента, причем как в однослойной модели, так и в двухслойной. Это расширяет возможности физического моделирования природных зон сдвига.

4. Эксперименты с моделью, являющейся аналогом сложнопостроенной Баимской сдвиговой зоны с неоднородностями в виде интрузивных тел, позволило выявить происхождение и распределение на площади потенциально флюидопроницаемых зон декомпрессии, представленных на модели трещинами растяжения. Большинство из них связано с границами интрузивных тел. Сравнение с геологическими данными показывает, что со многими из этих зон в природе связаны месторождения и рудопроявления меди, золота и других полезных ископаемых.

Литература

1. Белоусов В.В. Гзовский М.В. Экспериментальная тектоника. М., Недра. 1964. 118 с.

2. Бокун А.Н. Закономерности образования и особенности строения зон горизонтального сдвига (по результатам физического моделирования) / А.Н. Бокун // Материалы Всероссийской конференции «Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40-летию создания М.В.Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН» 13-18 октября 2008. Москва. С. 149-161.

3. Борняков С.А., Семинский К.Ж., Буддо В.Ю., Мирошниченко А.И., Черемных А.В., Черемных А.С., Тарасова А.А. Основные закономерности разломообразования в литосфере и их прикладные следствия (по результатам физического моделирования) // Геодинамика и тектонофизика. 2014. 5(4). С. 823-861.

4. Стоянов С.С. Механизм формирования разрывных зон. М., Недра. 1977. 144 с.

5. Трение, сцепление и сопротивление грунтов сдвигу. Экологическая библиотека. [Электронный ресурс]. 2016. Режим доступа: http://ecology-portal.ru/publ/stati-raznoy-tematiki/500977-trenie-sceplenie-i-soprotivlenie-gruntov-sdvigu (16.05.2016).

6. Черемных А.В. Экспериментальное исследование разрывообразования в чехле платформы при активизации разломов фундамента (Накынское кимберлитовое поле Якутской алмазоносной провинции) / А.В.Черемных, А.С. Гладков, А.С. Черемных // Материалы Четвертой Тектонофизической конференции. – 2016. - Т.2. - Раздел 3. - С. 188-195.

7. Читалин А.Ф, Усенко В.В., Фомичев Е. В. Баимская рудная зона - кластер крупных месторождений цветных и драгоценных металлов на западе Чукотского АО // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление : научно-технический журнал. 2013. N 6. С. 68-73.

8. Atmaoui N., Kukowski N., Stöckhert B., König D.Initiation and development to pull-apart basin swith Riedel shear mechanism: insights from scaled clay experiments // International Journal of Earth Sciences.2006. V. 95, no. 2. P. 225-238.[Электронный ресурс]. Режим доступа: http://dx.doi.org/10.1007/s00531-005-0030-1. (16.05.2016).

9. Dooley T. P., Schreurs G. Analogue modelling of intraplate strike-slip tectonics: A review and new experimental results // Tectonophysics. 2012. V. 574–575. P. 1–71.

10. Naylor M.A., Mandl G., Sijpesteijn C.H.K. Fault geometries in basement-induced wrench faulting under different initial stress states // Journal of Structural Geology.1986. V. 8. P. 737–752.

11. Schellart W.P., Nieuwland, D.A. 3-D evolution of a pop-up structure above a double basement strike-slip fault: some insights from analogue modeling // Nieuwland, D.A. (Ed.), New insights into Structural Interpretation and Modelling. Geological Society, London, Special Publication. 2003. C. 169–179. http://dx.doi.org/10. 1144/GSL.SP.2003.212.01.11.

12. Schreurs G. Fault development and interaction in distributed strike-slip shear zones: an experimental approach. In: Storti, F., Holdsworth, R.E., Salvini, F. (Eds.), Intraplate Strike-slip Deformation Belts. Geological Society, London, Special Publications, 2003. V. 210. P. 35–52.

ОСОБЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ФОРМЫ (ОСФ) (ЛИНЕЙНЫЕ, КЛИНОВИДНЫЕ, УЗЛОВЫЕ, КОЛЬЦЕВЫЕ И РОТАЦИОННЫЕ) И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Статья первая.

ЛИНЕЙНЫЕ (ЛИНЕАМЕНТЫ) И КЛИНОВИДНЫЕИ СТРУКТУРНЫЕ ФОРМЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ.

Полетаев А.И.
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Россия

Реферат. Результаты многолетних исследований Восточно-Европейской платформы (ВЕП) свидетельствуют о высокой степени структурированности этого крупнейшего блока Земли линейными образованиями самых разных – от планетарного до локального – масштабов и самых разных простираний, группирующихся в четыре основные системы: субмеридиональную, субширотную, северо-западную и северо-восточную.

Ранее было показано, что инфраструктура линеаментного поля ВЕП по латерали характеризуется перекрестным структурным планом [Макаров, Соловьёва, 1976], а по вертикали – мультилинеаментностью [Полетаев, 1998], что неизбежно приводит к анизотропности и геодинамической неустойчивости земной коры и выражается в горизонтальной и вертикальной делимости земной коры платформы самого разного масштаба [Полетаев, 1994].

В конце XX века было предложено «*выделять особую группу форм, не находящих, как правило, своего отражения на топокартах*» [Костенко и др., 1999, с. 116]. В настоящее время можно говорить, что в эти «*структурные элементы, как бы просвечивающие через толщу четвертичных отложений и даже плитный чехол*» (там же), и действительно образующие группу «*особых структурных форм*» (ОСФ) [Полетаев, 2012, 2015], входят широко известные линейные структуры (линеаменты) [Hobbs, 1904; Макаров, 1978; Кац и др., 1986], а также структуры клиновидные [Полетаев и др., 1984; Красный 1987, 2004; Жирнов, 2012; Полетаев, 2015, 2016], дуговые [Мушкетов, Мушкетов, 1935; Горшков, Шенкарёва, 1978; Баженов, Буртман, 1980], узловые [Волчанская, 1985; Полетаев, 1992], кольцевые [Полетаев, 1983; Кац и др., 1989; Мещерякова, 2016], девиантные [Полетаев и др., 1999] и ротационные [Ротационные процессы…, 2007; Хаин, Полетаев, 2007; Полетаев, 2011, и др.].

В результате изучения данных структур в различных регионах Земли было выявлено, что многие из них отражают в дневной поверхности планеты разноглубинные тектонические нарушения, которые характеризуются повышенной раздробленностью, подвижностью и

флюидопроницаемостью, и с которыми часто связаны участки:

а) активизации разнообразных геологических процессов (от сейсмичности и вулканизма до карсто- и оползнеобразования) и

б) скопления месторождений полезных ископаемых – твёрдых, жидких и газообразных.

В данной статье рассматриваются первых результаты изучения линейных (линеаментов) и клиновидных структур ВЕП в связи с их возможной флюидопроницаемостью.

***

Основной метод исследований – линеаментный анализ земной коры (ЛАЗК).

Основная задача исследований – выявление скрытых тектонических нарушений (СТН) земной коры ВЕП, потенциально характеризующихся повышенной флюидопроницаемостью.

Обозначения и сокращения: ВЕП – Восточно - Европейская платформа, КСФ – клиновидные структурные формы, ЛАЗК – линеаментный анализ земной коры, НГБ – нефтегазовый бассейн, ОБП – осадочные бассейны платформ, ОСФ – особые структурные формы, СТН – скрытые тектонические нарушения, УВ – углеводороды, УВР – углеводородные ресурсы, ФСГС – фильтрационные свойства геологической среды.

ВВЕДЕНИЕ

За два последних столетия, т. е. после введения научный обиход в 1802 году Дж. Плейфером (1748 – 1819) понятия о *разрывах* земной коры, а также после введения в геологический словарь в 1904 году У. Хоббсом (1864 – 1953) понятия о *линеаментах*, накоплен огромный фактический материал, свидетельствующий о том, что Земля пронизана густой сетью линейных нарушений и деформаций разного возраста заложения, разного масштаба проявления (протяжённости), разной глубины и разных простираний, часто развитых в скрытой (*латентной*) форме.

Исследование структуры Земли с помощью летательных космических аппаратов, активно начавшееся примерно с 70-х годов прошлого века, привело не только к уточнению сложившихся представлений, но и к появлению новых, кардинально отличающихся от прежних.

Большой вклад в такой «*переворот*» геологического «*сознания*» внёс *линеаментный анализ земной коры* (ЛАЗК).

Именно благодаря широкому применению этого анализа стало ясно, что земная кора пронизана густой сетью линейных нарушений и деформаций разного возраста заложения, разной протяжённости, глубины и ориентировки, часто выраженных не в открытой, а в скрытой (латентной) форме.

Применение линеаментного анализа земной коры (ЛАЗК) [Кац и др., 1986; Полетаев, 2001, 2014; Жирнов, 2012] привело к нетривиальным результатам, связанным: с уточнением

структуры планет земной группы [Ершов и др, 1998, 2000; Каттерфельд, 2000], крупных блоков Земли [Буш, 1983; Короновский, 1984; Макаров В., 1978; Макаров Н., 2000], дна её океанов [Ломакин, 2009] и морей [Корчуганова, 1985]; прогноза землетрясений [Бондур, Зверев, 2005; Горшков, 2010]; геодинамики некоторых регионов [Полетаев, 1994, 1996] и глубинной структуры сочленения крупных блоков земной коры [Полетаев и др., 1984]; с выявлением некоторых структурных особенностей земной коры, например, линеаментной делимости [Полетаев, 1994], мультилинеаментности [Полетаев, 1998]; с поиском и выявлением скрытых тектонических нарушений [Мукосей, 2010; Полетаев, 2017], а также с уточнением локализации месторождений полезных ископаемых на континентах [Горшков, 2010; Лопатин, 2002; Жирнов, 2012] и минеральных скоплений на дне океанов [Егоров, Андреев, 2005].

ЛИНЕЙНЫЕ СТРУКТУРЫ (ЛИНЕАМЕНТЫ) ВЕП

На схеме масштаба 1:30 000 000 линеаментное поле ВЕП, образованное, преимущественно, диагональными структурами, является частью планетарной линеаментной матрицы континентов Земли (рис.1).

Рис. 1. Линеаментная матрица континентов ЗемлиМ – б: 1 : 30 000 000 [по: Полетаев, 1994].

Линеаментные поля ВЕП масштаба 1 : 7 500 000, составленные по схемам магнитных (рис.2а) и гравитационных аномалий (рис.2б) по линеаментному «*рисунку*» похожи, но по плотности резко различаются. Кроме того, на схеме магнитного поля ортогональная и

диагональная системы линеаментов развиты равноценно, тогда как на схеме гравитационных аномалий доминируют диагональные линеаменты.

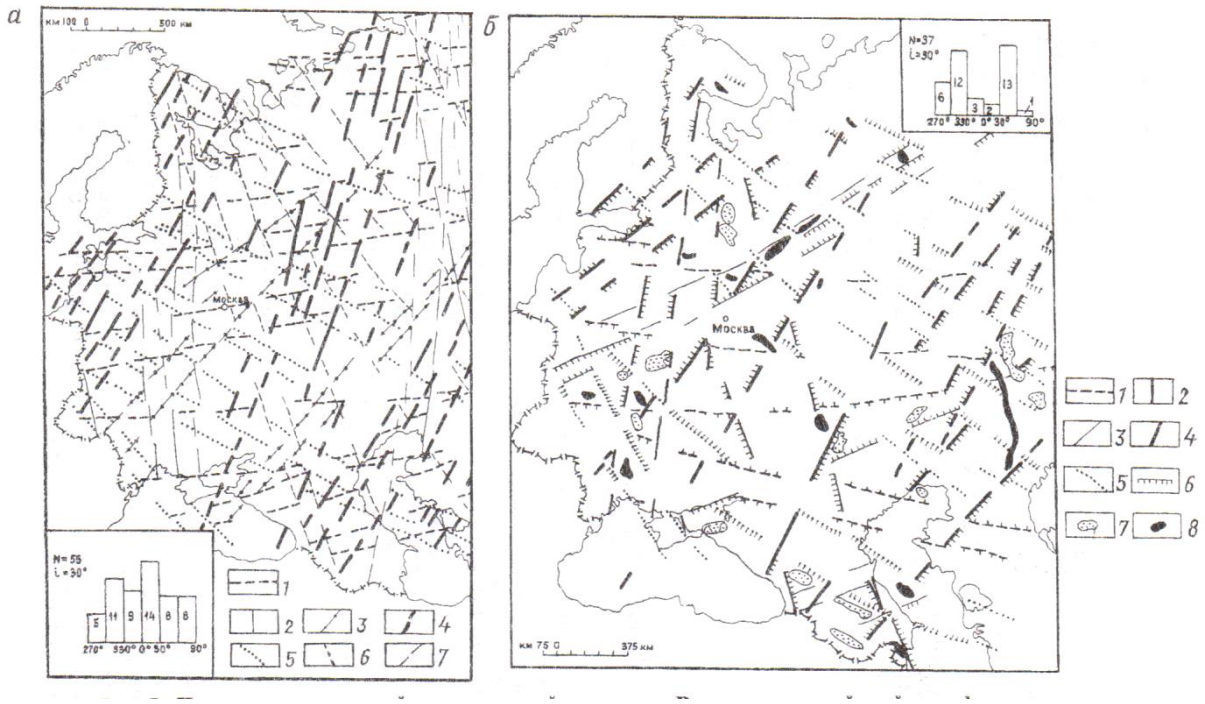


Рис. 2. Линеаментные системы ВЕП, выделенные по схемам магнитного (а) и гравитационного (б) полей. М-б 1 : 7 5000 000 [по: Полетаев, 1994].
а) 1 – 7 – простирание линеаментов: 1 – субширотное, 2 – субмеридиональное, 3 – С В, 4 – С – СВ, 5 – З – СЗ, 6 – СЗ, 7 – С – СЗ.
б) 1 – 5 – простирание линеаментов: 1 – субширотное, 2 – субмеридиональное, 3 – СВ, 4 – С – СВ, 5 – З – СЗ; 6 – штрихи в сторону преимущественно отрицательного поля; 7 – отрицательный минимум гравитационного поля; 8 – положительный максимум гравитационного поля; на врезках – гистограммы простирания линеаментов.

На схеме линеаментов, составленной по топографической карте масштаба 1 : 7 500 000 (рис. 3), структурный рисунок линеаментного поля очень похож на структурный рисунок линеаментного поля, выделенного по карте магнитных аномалий (см. рис. 2а).

На схеме масштаба 1 : 3 000 000 (рис. 4) линеаменты развиты более менее равномерно с интервалом от 50 – 70 до 100км, с некоторым уменьшением плотности в западной части ВЕП.

Преобладают линеаменты диагональной системы, т.е. СЗ – ЮВ-го и ЮЗ – СВ-го простираний, что может свидетельствовать о структурном «*омоложении*» коренной трещиновастости (рис. 5).

Рис. 3. Линеаментные системы Восточно-Европейской платформы.
М-б 1 : 7 500 000
[по: Кац, Румянцева, Полетаев, 1986].

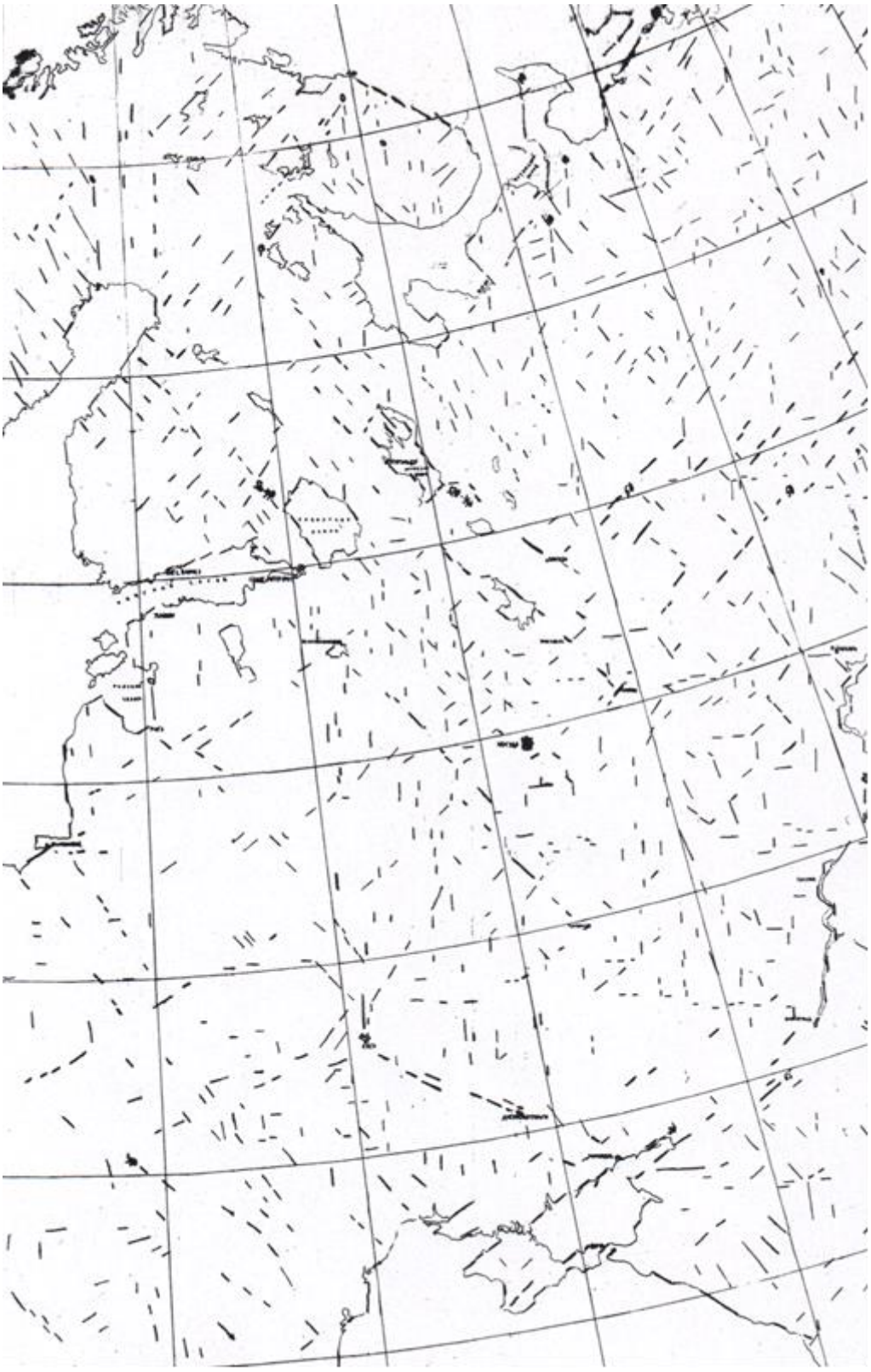


Рис. 4. Линеаментные системы ВЕП.
Фрагмент схемы масштаба 1 : 3 000 000

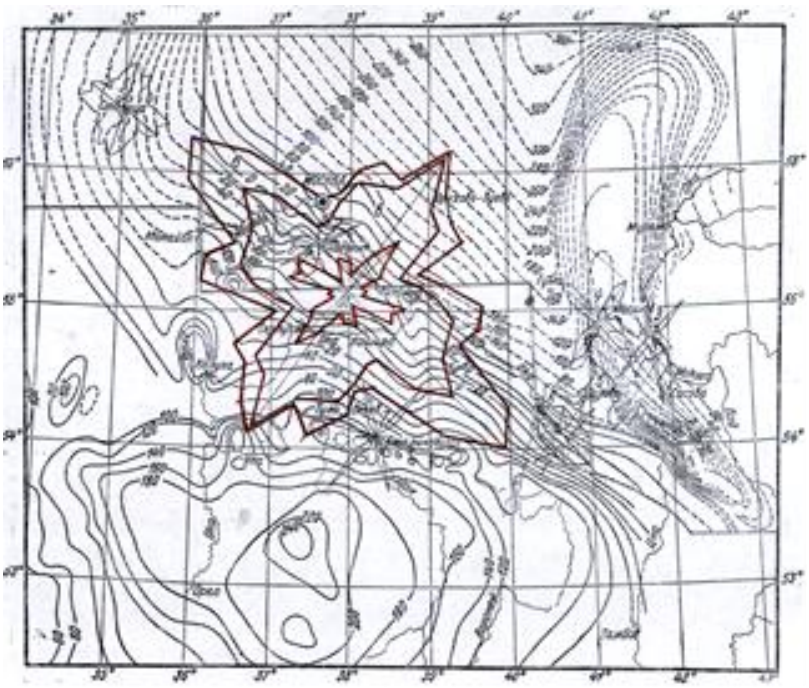


Рис. 5. Схематическая структурная карта Подмосковья. По материалам В.А. Жукова и А.Э. Константинович, 1940, и Д.Н. Утехина, 1944 (Пермяков, 1949, вкладка).

Несмотря на отмеченную равномерность распределения линеаментов в «*теле*» ВЕП, в линеаментном поле удалось выделить две особенности.

Первая особенность связана с выделением особо активной Балтийско-Ладожско-Онежско-Колгуевской зоны [Агибалов, Полетаев, Гордеев, 2017], *вторая* – с выделением среди линеаментного поля ВЕП клиновидных структур.

Балтийско - Ладожско - Онежско - Колгуевская (БЛОК) линеаментная зона – одна из крупнейших линейных структур северо-запада Восточно - Европейской платформы, долгое время «*ускользавшая*» от внимания многих исследователей.

Фрагменты данной зоны намечены ещё в работах А.П. Карпинского конца Х1Х века [Карпинский, 1919], затем намечены на схеме планетарной делимости Земли масштаба 1 : 30 000 000 (см. рис. 1) и на схеме гравитационного поля ВЕП (масштаб 1 : 7 500 000) [Полетаев, 1994] (см. рис. 2б).

Поиск, выделение и обоснование зоны БЛОК свидетельствуют о самых разнообразных результатах структурного «*прочтения*» земной коры, получаемых в современной геологии, так как исследователи могут быть разделены на:

а) не «*увидевших*» данной зоны и не выделивших её: так, например, известный отечественный тектонист начала ХХ века М.М.Тетяев «*не заметил*» эту зону, позже классик немецкой геологии Ганс Штилле также никак не отразил данную зону на своей схеме «*Кардинальные линеаменты Европы*»; равно как не отразил эту зону и Б.В. Сенин на схеме

«*Соотношение докембрийских структурно-вещественных комплексов и элементов планетарной структуры I – III рангов*» [Сенин, 1985, с. 283], составленную «*по геолого-геоморфологическим, гравиметрическим и космосъёмочным данным высоких уровней генерализации*» [там же, с. 276].

б) выделивших данную зону лишь частично: Л.М. Расцветаев на схеме «*Крупнейшие структуры литосферы и их соотношение с зонами глобального скалывания*» [1980, с. 148] чётко выделил юго - западный фрагмент этой зоны (к юго - западу от линии Тейсерра-Торнквист; центральная часть зоны – между Ладогой и Онегой – была выделена значительно позже [Котов, 2001]; А.В. Синицын с соавторами и В.И. Башилов, напротив, выделили её северо - восточный фрагмент в виде Архангельской зоны вендской активизации [Синицын и др., 1986; Башилов, 1987].

В.А. Буш в 1987 году также выделил северо-восточный фланг этой зоны на схеме разломов диагональной системы СССР; позднее в 2002 году – Д.В. Лопатин этот фланг зоны БЛОК выделил в виде линеамента на схеме линеаментной тектоники Северной Евразии.

Ранее В.П. Мирошниченко с соавторами выделили юго-западный и северо-восточный фланги этой зоны, показав их возможные продолжения вплоть до южного окончания берега Южной Америки (на ЮЗ) и до мыса Челюскина (на СВ), соответственно [Мирошниченко и др., 1984]. Фрагментарно данная зона выделена и на карте активных разломов северной части ВЕП [Трифонов, 1999].

в) выделивших зону БЛОК на всём или почти на всём её протяжении, т.е. примерно от Калининграда (на юго - западе) до острова Колгуев (на северо - востоке): например, Ю.М. Эринчек и Е.Д. Мильштейн выделили данную зону в виде Калининградско - Архангельской зоны «*повышенной концентрации разломов малой протяжённости*» [Эринчек, Мильштейн, 2003, с. 321].

Не исключено, что данная зона прослеживается ещё дальше на юго - запад, вплоть до Гибралтарского пролива [Расцветаев, 1980], а также на северо-восток – до пролива Карские ворота, разделяющего острова Новая Земля и Вайгач, т.е. она может считаться д а л ь н о д е й с т в у ю щ е й структурой земной коры [Полетаев, 1999].

Судя по приведённым примерам, зона БЛОК может быть отнесена к так называемым *скрытым структурам* [Макаров, Щукин, 1979; Полетаев, 2011] или *скрытым тектоническим нарушениям* (СТН) [Кочев, Полетаев, 2010], которые достаточно уверенно выделяются с помощью линеаментного анализа земной коры [Полетаев, 2014].

Можно предположить, что данная зона «*играет*» очень важную роль в понимании структуры, сейсмотектоники и геодинамики данного региона, т.к., протягиваясь от Балтийского

моря до Баренцева моря, БЛОК - зона индицирует скрытое тектоническое нарушение, транзитно связывающее акватории двух океанов – Атлантического и Северного Ледовитого.

В виде единой структуры БЛОК - зона выделена при составлении схемы линеаментов ВЕП масштаба 1 : 3 000 000 в 2014/2015гг. Первоначально было предположено, что эта зона может отражать глубинную границу Русской плиты и Балтийского щита. Сопоставление же зоны с имеющимися данными о сейсмичности региона позволяют рассматривать данную структуру и как региональную сейсмотектоническую границу. Подтверждением сейсмотектонического значения БЛОК - зоны может служить Онежско - Чешская сейсмогенная зона [Юдахин и др., 2003], совпадающая с северо-восточным флангом рассматриваемой зоны БЛОК.

Не меньшим подтверждением сейсмоактивности данной зоны служит и Калиниградское землетрясение 2004 года [Ассиновская, Овсов, 2008], эпицентральная область которого расположена на юго - западном фланге зоны БЛОК, а также известные сейсмические события Ладожского региона – примерно в центральной / средней части БЛОК - зоны.

Не исключено, что данная зона приурочена «*к пограничной геодинамической области, в которой, с одной стороны, происходит опускание земной коры (на юге Балтики) со скоростью более 2 мм/год, а с другой – поднятие древнего докембрийского щита Фенноскандии со скоростью 10 – 20 мм/год*» [Орлёнок, 2006, с.10].

КЛИНОВИДНЫЕ СТРУКТУРЫ ВЕП

Истоки представлений о клиновидной тектонике Земли относятся к 1888 году, когда в Горном журнале (№2, с. 252 – 269) выдающийся русский геолог

Александр Петрович Карпинский (1847 – 1936) опубликовал статью «*О правильности в очертаниях, распределении и строении континентов*», в которой указал «*на примечательную треугольную форму материков,*

*заострённую к ю*гу».

В течение последних 50 – 60 лет клиновидные структуры просматривались в самых разных геологических материалах: в схемах древних ложбин стока и конечных морен Западной Сибири [Орлов, 1959] и разломной тектоники земной коры [Чебаненко, 1963] , в серии схем глобальных сдвиговых зон [Воронов, 1964, 1997; Расцветаев, 1980, 1997] , в схемах глобальных геоблоков [Красный, 1984] и глобальных линейных объектов Земли [Сенин,1985] , а к давно известным Кипрскому, Кушкинскому и Иркутскому «*клиньям*» добавились клиновидные структуры зоны сочленения Восточно-Европейской и Африканской плит [Кац, Полетаев, 1983; Полетаев и др., 1984], подтверждённые независимыми геофизическими исследованиями [Щукин и др., 1984]; клиновидные структуры Лавразийского сдвигового пояса [Полетаев, 1997], клиновидная структура Канадского щита (Архангельская, 2008) и клиновидные структуры

Восточно - Европейской платформы [Полетаев, 2015, 2016].

Внутриплитные клинья, впервые выделенные на территории Восточно - Европейской платформы с помощью линеаментного анализа топографических карт масштаба 1 : 3 000 000 (рис.6), 1 : 1 000 000 (рис.8) и детальнее (рис.10), как правило, образованы диагональными структурами с простираниями СЗ – 320 - 330º и СВ – 50 - 60º, т.е. можно считать, что в условиях общего субмеридионального сжатия Земли данные структуры образовались в полном соответствии с законом скалывающих напряжений [Горшков, 1947].

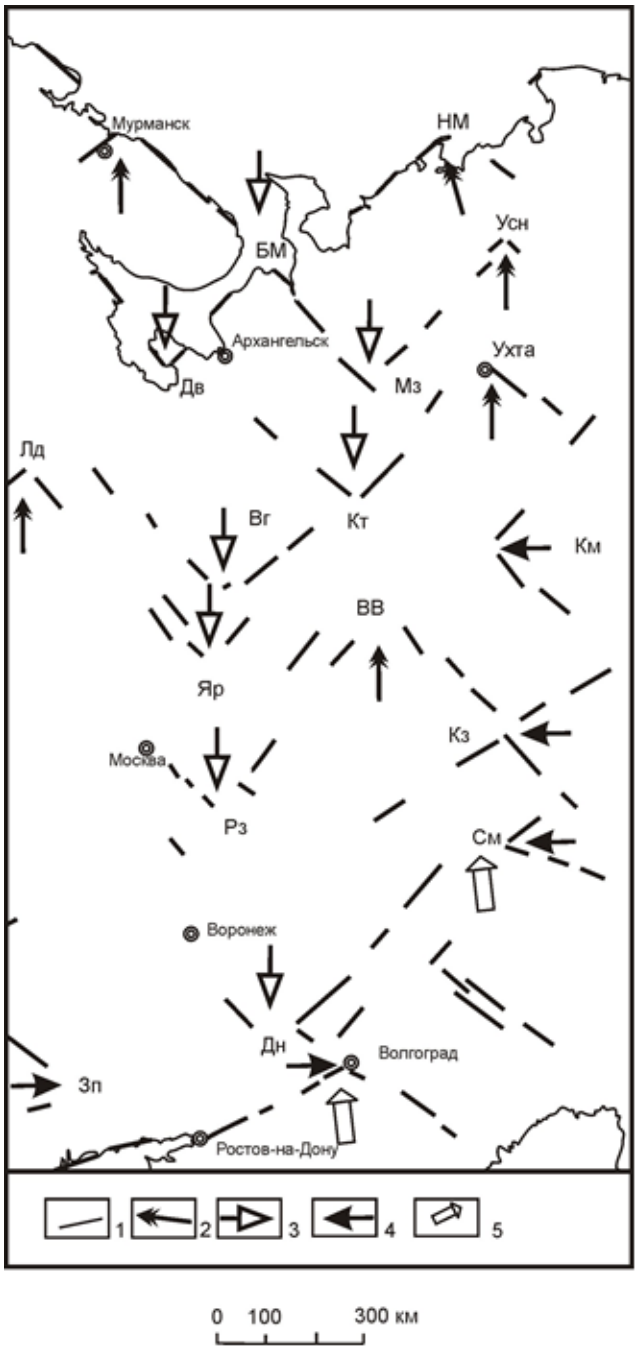


Рис. 6. Клиновидные структуры ВЕП.
1 – линеаменты; 2 – 5 – предполагаемое направление сжатия:
2 – 3 – субмеридиональное: 2 – с С на Ю; 3 – с Ю на С;

4 – субширотное; 5 – направление давления со стороны Афро-Аравийской платформы
Клинья: БМ – БелоМорский, ВВ – Ветлуга-Вятский, Вг – Вологодский, Дв – Двинский, Дн – Донской, Зп – Запорожский, Кз – Казанский, Км – Камский, Кт – Котласский, Лд – Ладожский, Мз – Мезенский, НМ – Нарьян-Марский, Рз – Рязанский, См – Самарский, Усн – Усинский, Яр – Ярославский

Данные «*клинья*» могут свидетельствовать в пользу активного влияния на внутриплатформенное структурирование как атлантических напряжений (с запада), так и уральских напряжений (с востока) [Леонов, 1995].

Выявленные клиновидные структуры ВЕП и их направления коррелируют и с ранее выделенными зонами «*динамического влияния коллизионных поясов ВЕП и Скифской платформ*» [Щукин, Краснопевцева, 1996] (рис. 7).

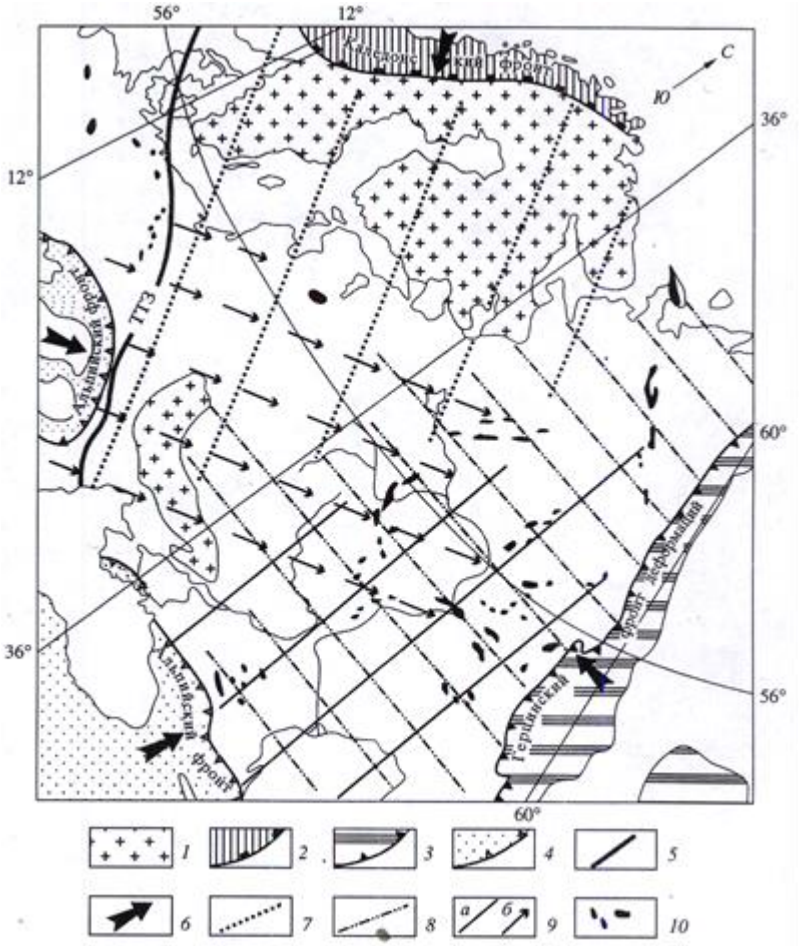


Рис.7.Зоны динамического влияния коллизионных поясов
на территории Восточно-Европейской и Скифской платформ
[по: Щукин, Краснопевцева, 1996; из: Леонов, 1997, с. 30].

1 – фундамент Восточно-Европейской платформы на поверхности (Балтийский, Украинский щиты); 2 – каледониды и фронт каледонских покровов; 3 – варисциды Урала и варисский фронт; 4 – альпиды и альпийский фронт; 5 – зона Тессейра-Торнквиста (ТТЗ); 6 – преобладающие направления коллизионного сжатия; 7 – 9 – зоны динамического влияния: 7 – каледонид Скандинавии, 8 – варисцид Урала, 9 – альпид Кавказа (а) и Карпат (б); 10 – районы развития структур сжатия в осадочном чехле

Более того: можно полагать, что клиновидные структуры, выявленные внутри «*тела*» ВЕП, представляют собой реальные формы проявления данного влияния.

***

Попутно с составлением схемы линеаментной тектоники ВЕП и выделением клиновидных структур на отдельных участках была проведена корреляция линеаментных систем и выделенных клиньев с разрывными нарушениями фундамента (рис. 8, 9)

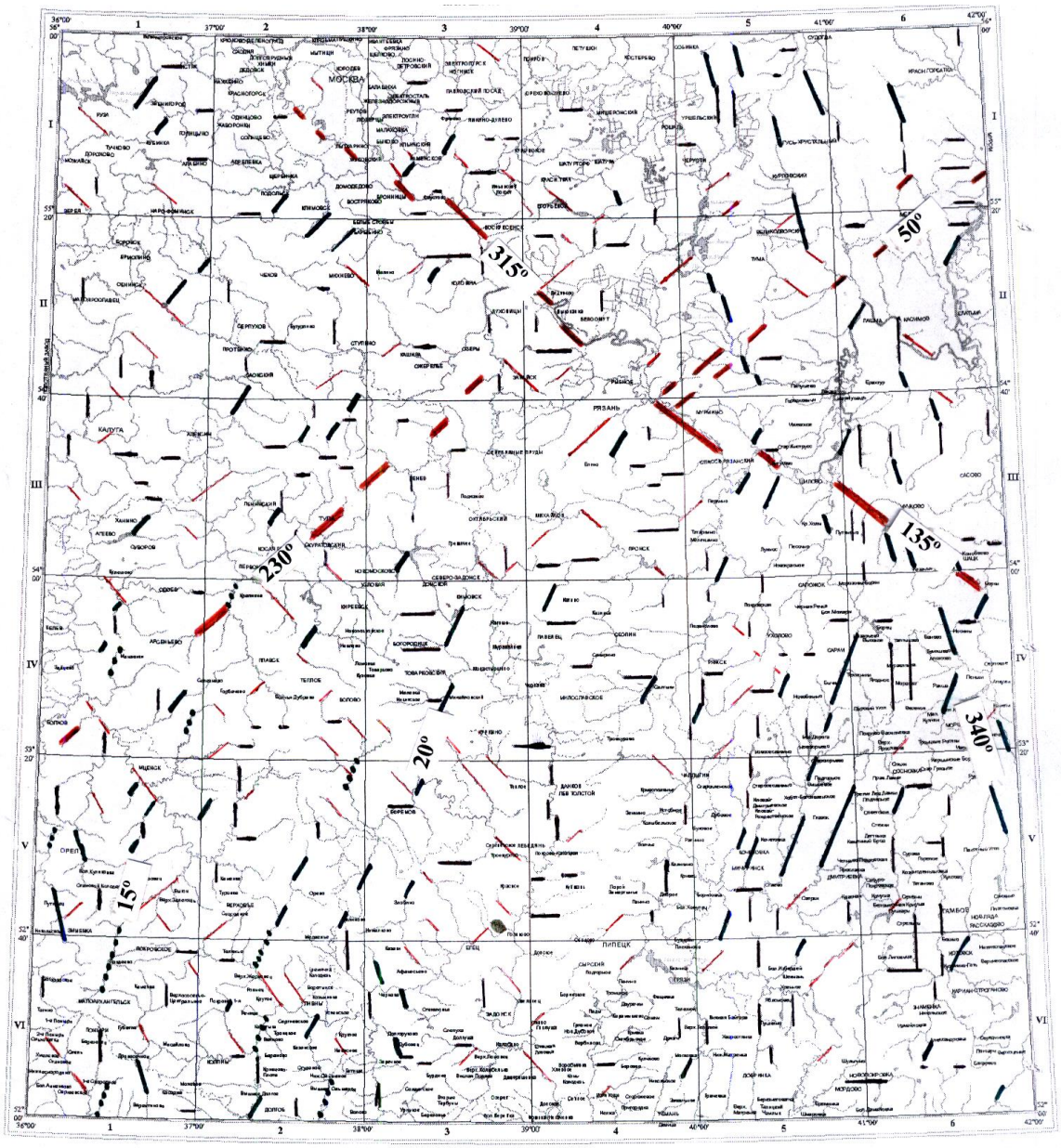


Рис. 8. Линеаментные системы ЮЗ Московской синеклизы.
Лист N – 37. М - б 1 : 1 000 000
[по: Полетаев, 2016].

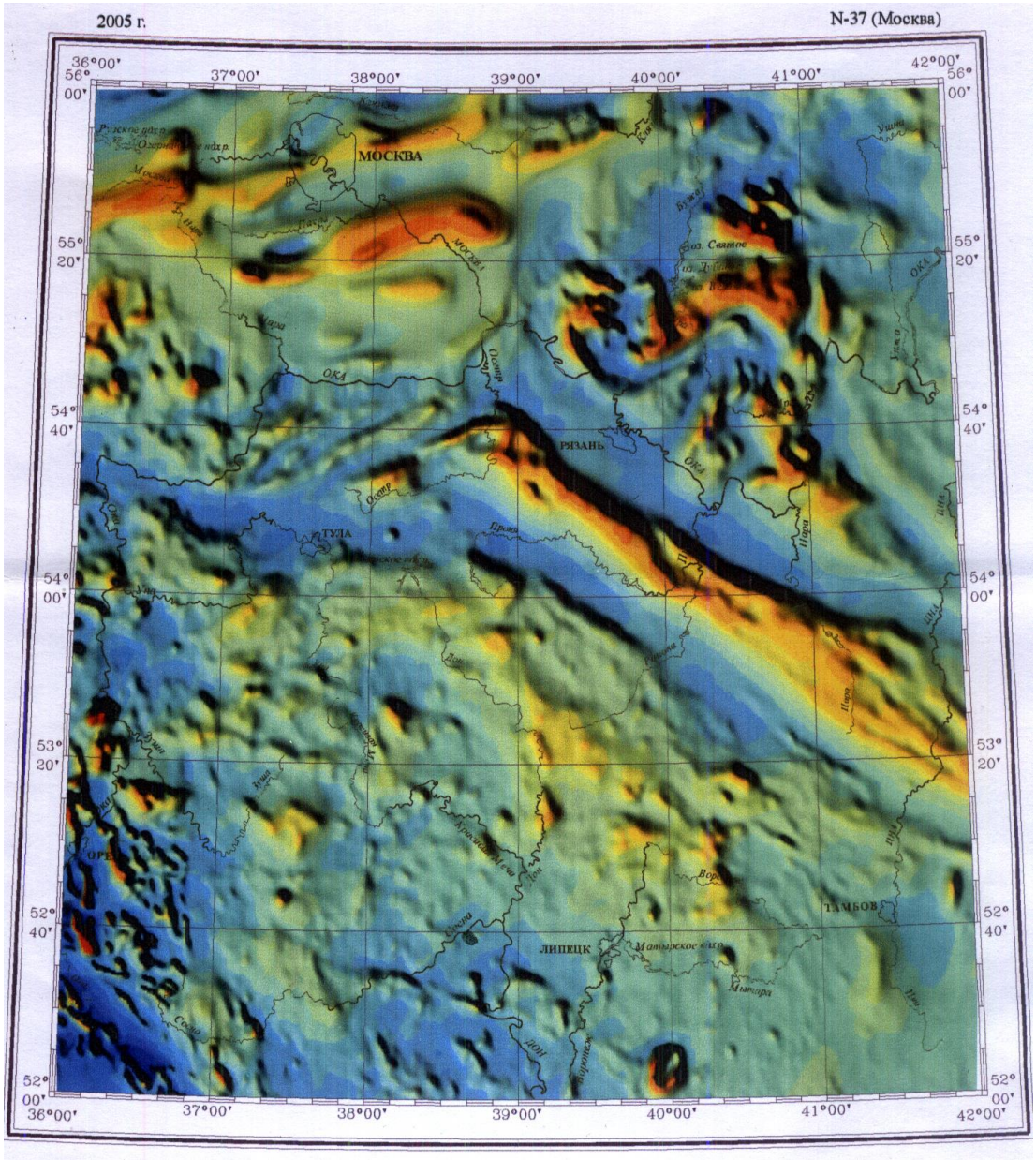


Рис.9.Карта аномального магнитного поля (Δ T) а (цветной псевдорельеф). N-37 (Москва). Исходный м-б 1: 2 500 000 [Езерская и др., 2005].

Результаты проведённой корреляции на южном крыле Московской синеклизы (территория топографической карты N-37) показали, что далеко не всегда структуры фундамента находят отражения в линеаментном поле и, соответственно, в рельефе изучаемой территории.

Так, по результатам линеаментного анализа на данной территории (в районе Рязани) чётко выделяется крупная узловая структура, образованная двумя клиновидными структурами, ориентированными субмеридионально (см.рис. 8).

Северная структура, обращённая острым углом на юг, образована линеаментами с простираниями СЗ - 315º и СВ - 50º.

Южная структура, обращённая на север, образована линеаментами с простираниями ЮЗ

– 230º и ЮВ – 135º.

Сопоставление описанных выше клиновидных структур с картой аномального магнитного поля (см. рис. 9), отражающего структуру фундамента ВЕП, свидетельствует, что со структурой фундамента коррелирует только южный «*клин*», обращённый на север: северный «*клин*», обращённый на юг, в рисунке магнитного поля, отражающего строение фундамента, не имеет никакого соответствия.

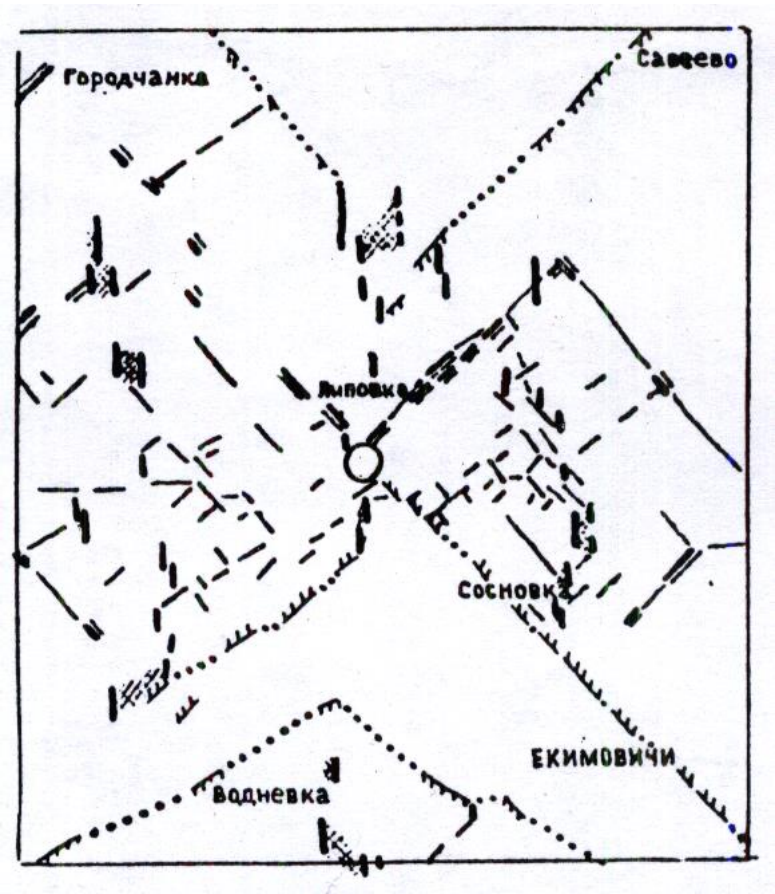


Рис. 10. Схема локальной линеаментной делимости земной коры Смоленского космо-геологического полигона (исходный м-б 1 : 25 000) [Полетаев, 1999, с. 158]: с образованием в центре узловой структуры, образованной двумя встречными клиньями.

Эти структуры подтверждают и дополняют некоторые выводы М.Л. Коппа, сделанные им в известной работе «*Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы*», изданной в 2004 году.

1. Плановое расположение клиновидных структур южной части ВЕП, например, Керченского и Волго-Донского, «*заострённых*» с юга на север, подтверждает, что «*новейшая структура платформ Юго-Восточной Европы*» могла образоваться «*под воздействием направленного к северу давления Аравийской плиты, передавашегося через Кавказско-Иранский сегмент Альпийского коллизионного пояса и далее – через платформенный фундамент*» [Копп,

2004, с. 313].

2. Меридиональные линейные структуры, маркируемые долинами Днепра, Дона, Урала и других рек, подтверждают возможное субширотное растяжение, возникающее как результат давления «*Аравии в пределах платформ Юго-Восточной Европы*» [там же].

3. Проведённые исследования позволяют согласиться и с тем, что: «*Представление о единстве и жёсткости Евразийской плиты в кайнозое верно лишь в самом первом приближении*» [там же, с. 314]. Действительно, исследованная территория ВЕП, как и вся «*Северной Евразия представляла собой менявшийся во времени калейдоскоп субплит и блоков, с несколько разной скоростью двигавшихся от оси спрединга в Северной Атлантике – Арктике*» [там же].

4. И, наконец, Беломорский, Котласский, Вологодский, Ярославский, Рязанский, Усть-Хопёрский и другие клинья Восточно-Европейской платформы, «*заострённые*» **с севера на юг,** подтверждают заключительный вывод М.Л. Коппа о том, что: «*Современный неотектонический рельеф платформ Северной Евразии образовался в результате горизонтальных перемещений не только плит гондванского происхождения, но и встречного дрейфа фрагментов Евразии*» [там же].

К этому надо добавить, что в зоне сочленения Восточно-Европейской платформы с альпийской горно - складчатой системой и внутри самой альпийской системы возникают клиновидные структуры субширотного направления, «*заострённые*» как **с запада на восток**, например, Запорожский, Волгоградский и Батумский клинья, так и **с востока на запад**, например, Актауский клин на восточном берегу Каспия. Кроме того, клиновидные структуры, направленные с востока на запад – Самарский, Казанский и Березниковский – развиты на востоке Восточно-Европейской платформы, в зоне её сочленения с Уральской горно - складчатой системой.

Таким образом, если вышеизложенное, говоря словами А.П. Карпинского, «*не лишено некоторого основания*», то можно полагать, что рассмотренные клиновидные структуры существенно пополнили «*банк*» особых структурных форм, выделенных ранее [Полетаев, 2012] , а их независимое выделение разными авторами, в разное время, в разных районах Земли и на разных масштабных уровнях – от планетарного до локального – может свидетельствовать не только о широком, но и достоверном развитии данных структур в пределах не только земной коры, но и литосферы в целом.

Последнее обстоятельство и позволяет говорить о специфической *клиновидной тектонике* Земли.

О ВОЗМОЖНЫХ СВЯЗЯХ ЛИНЕЙНЫХ (ЛИНЕАМЕНТОВ) И КЛИНОВИДНЫХ СТРУКТУР С УЧАСТКАМИ ПОВЫШЕННОЙ ФЛЮИДОПРОНИЦАЕМОСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

К настоящему времени накопился достаточно представительный банк данных, свидетельствующих о возможных связях линейных (линеаментов) и клиновидных структур и участков повышенной флюидопроницаемости земной коры [Башилов, 1987; Красный,1987; Полетаев и др., 1992; Жирнов, 2001, 2012; Макаров и др., 2003; Сидоров и др., 2009; Удоратин и др., 2014; Чистова и др., 2014] (рис. 11 – 14).

Повышенная геодинамическая подвижность описанной выше БЛОК - зоны и, вероятно, связанная с этим повышенная раздробленность / трещиноватость слагающих её горных пород не могли не отразиться и на особенностях её потенциальной флюидопроницаемости, т.е. на фильтрационных свойствах геологической среды (ФСГС).

И эти предположения подтверждаются имеющимися данными по СВ - му флангу БЛОК - зоны, где к отдешифрированным линейным структурам приурочены гидрохимические аномалии [Башилов, 1987] (рис. 11).

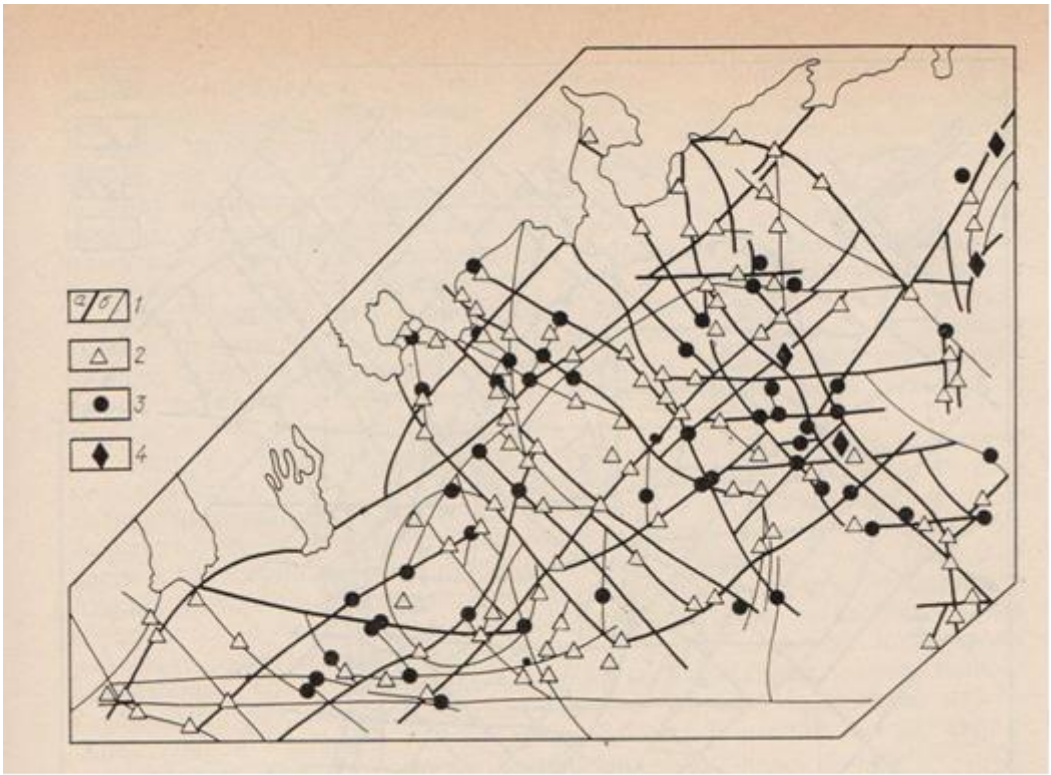


Рис. 11. Схема разломов севера Восточно-Европейской платформы, подтверждённых гидрохимическими аномалиями (по: Башилов, 1987): 1 – разломы, отдешифрированные на КС (а – глубинные, б – внутрикоровые); источники: 2 – минерализованные, 3 – газирующие, в том числе сероводородные, 4 – термальные

Но, пожалуй, наибольший интерес может представлять Онежский участок БЛОК - зоны, т.к. к нему приурочены «*уран - ванадиевые и шунгитовые месторождения, участки выхода радионуклидов на дневную поверхность*» и высокая «*объёмная активность радона*» [Белашев, Болондинский, 2013].

Клиновидные структуры, как структуры с потенциально высокой флюидопроницаемостью, давно привлекали исследователей [Полетаев и др., 1992].

Для максимального снижения риска возможных ошибок и получения наиболее корректного результата ЛАЗК в таких случаях применялся как минимум в трёх масштабах – планетарном, региональном и локальном.

На первом – планетарном – уровне исследований выяснялась общая матрица линеаментного поля, на втором – региональном – выяснялись его – более крупномасштабные – особенности и возможные связи с НГБ, а на локальном – устанавливалась корреляция конкретных линеаментов и их систем с конкретными же нефтеперспективными участками (рис. 12).

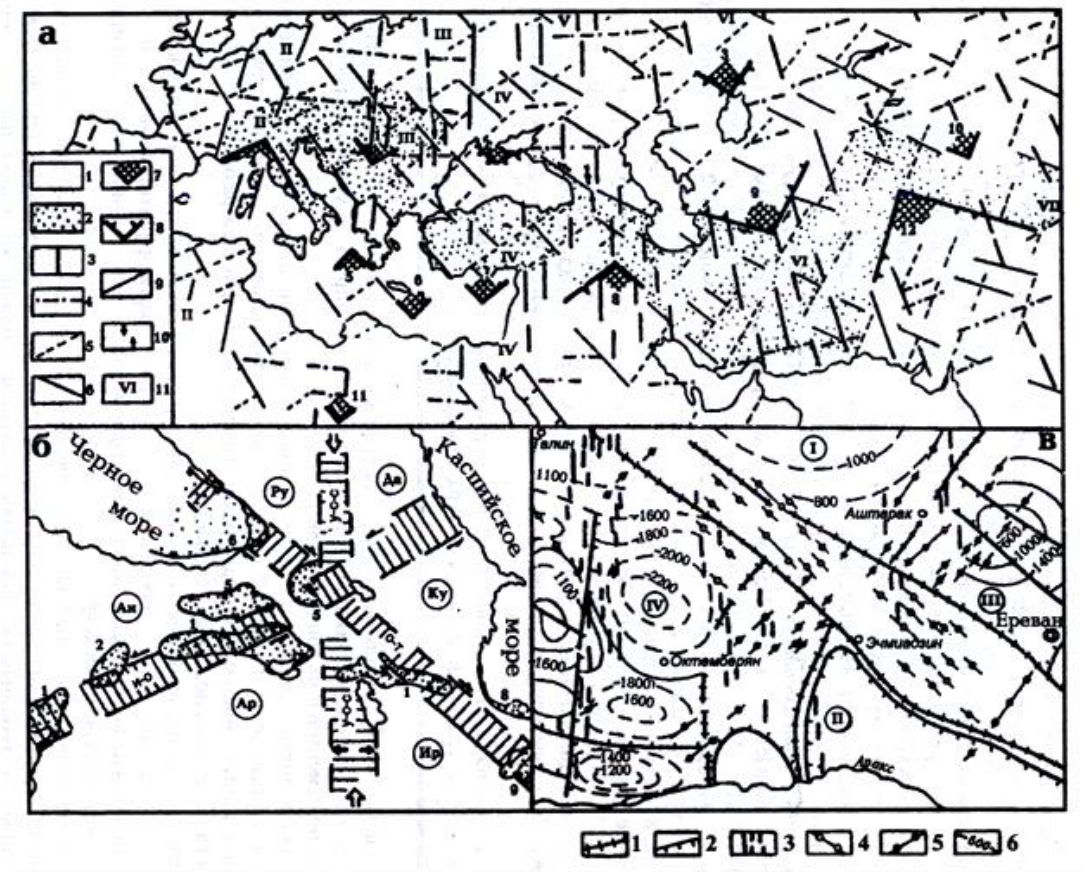


Рис. 12. Схемы линеаментной тектоники Малокавказского региона: надрегионального (а), регионального (б) и локального (в) уровней [по: Полетаев и др., 1992]:

а – схема линеаментной тектоники Малокавказского региона (в планетарной структуре зоны сочленения Евраийской и Аравийской литосферных плит). 1 – платформы; 2 – Средиземноморский складчатый пояс;

3 – 6 – линеаменты и их простирания: 3 – субмеридиональные, 4 – субширотные, 5 – северо-восточные, 6 – север-западные;

7 – клинья, образованные линеаментами: 1 – Южно-Паннонский, 2 – Крымский, 3 – Южно-Уральский, 4 – Генуэзский, 5 – Северо-Ионический, 6 – Критский, 7 – Кипрский, 8 – Северо-Аравийский, 9 – Кушкинский, 10 – Таримский, 11 – Ливийский, 12 – Северо-Индостанский;

8 – 9 – направления смещений крыльев: 8 – вертикальное (сбросовое), 9 – горизонтальное (сдвиговое);

10 – направление сжимающих усилий;

11 – субмеридиональные линеаментные зоны: 1 – Пиренейская, 11 – Альпийская, 111 – Балканская, 1V – Крымская (Анатолийская), V – Кавказская, – V1 – Копетдагская, V11 – Гималайская.

б – основные (над- и региональные) линеаментные зоны Малокавказского и сопредельных с ним регионов, контролирующие расположение нефтегазоносных бассейнов и месторождений.

Линеаментные зоны: И-О – Искандерон-Октемберянская. О-Т – Октемберян-Тебризская, У-С-С – Урмия-Севан-Самгорийская.

Межлинеаментные блоки: Ар – Аравийский, Ан – Анатолийский, Ри – Рионский, Да – Дагестанский, Ку – Куринский, Ир – Иранский.

Нефтегазоносные бассейны: 1 – Аданский (Искандеронский), 2 – малатьинский, 3 – Эрзерумский, 4 – Ванский, 5 – Тулуджа-Игдирский, 6 – Восточно-Черноморский, 7 – Тебризский, 8 – Южно- (или Западно-) Каспийский, 9 – Центрально-Иранский.

в – локальное линеаментное поле Октемберянского и Ереванского нефтегазоперспективных участков. 1 – 2 – разрывы, установленные по геолого-геофизическим данным; 3 – 5 – линеаменты, установленные в результате линеаментного анализа топокарт масштаба 1 : 100 000: 3 – субмеридионального, 4 – северо-западного, 5 – северо-восточного простираний, 6 – изолинии кровли среднеэоценовых отложений; 1 – 1V – основные структурные элементы: 1 – южный борт Южноарагацкой депрессии, 11 – Приараксинская депрессия, 111 – Центральной прогиб,1V – Араратская впадина.

Результаты применения ЛАЗК при изучении Малокавказского региона показали, что данные о структуре линеаментного поля могут быть успешно применены при решении некоторых задач при исследовании флюидопроницаемости земной коры, при прогнозировании путей миграции УВ и выявлении предполагаемых мест их скопления.

Появившиеся в последние годы данные [Жирнов, 2001] и эмпирические «*типовые модели*» [он же, 2012] о взаимосвязи клиновидных структур с месторождениями вольфрама, золота, олова и даже урана (рис. 13, 14) свидетельствуют о необходимости более внимательного и всестороннего изучения данных структур.

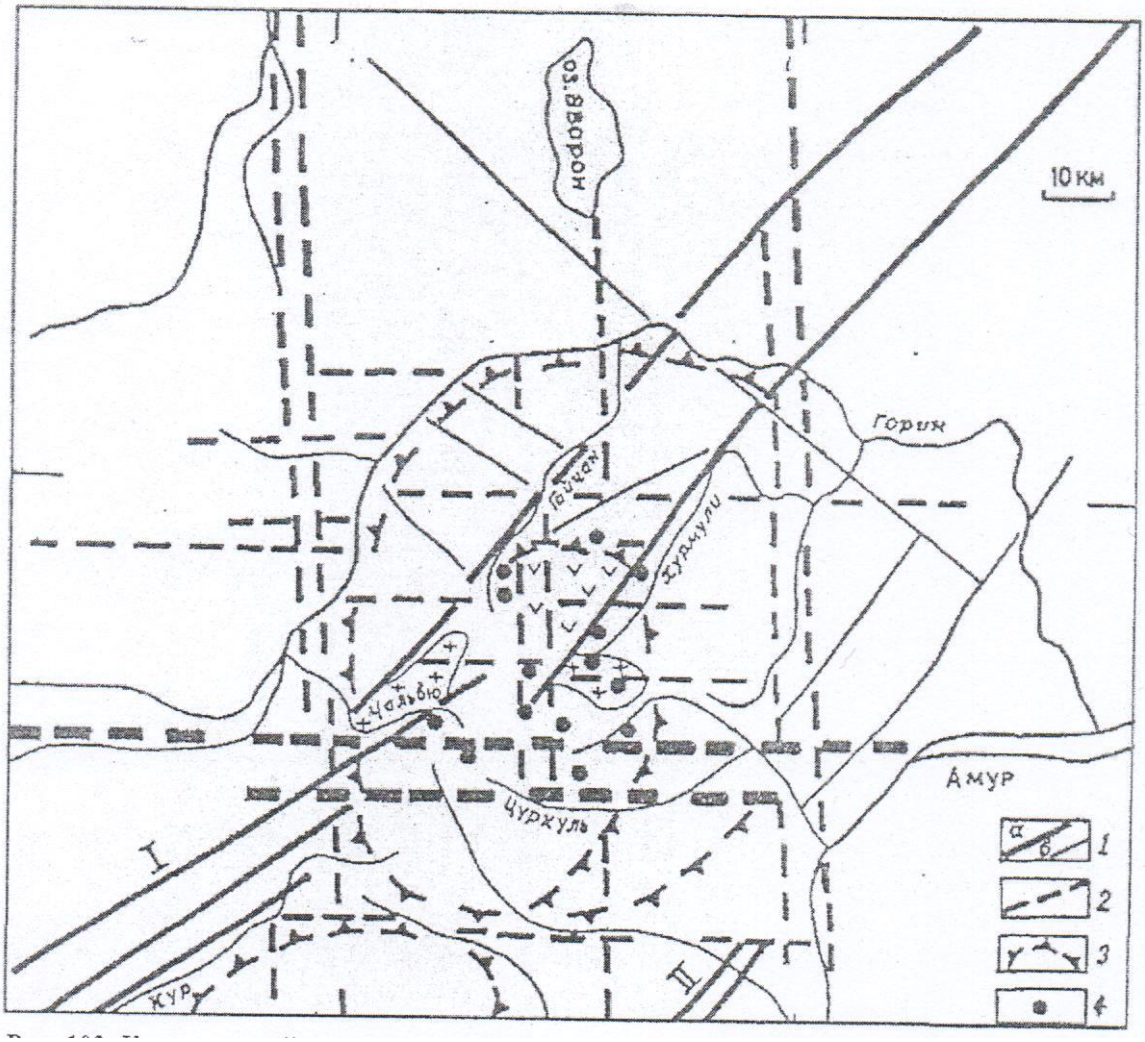


Рис. 13. Комсомольский оловорудный район в клиновидном тектоническом блоке Горинского грабено – свода [Жирнов, 2001]:
1 – мезозойские разломы: а – крупные (1 – Курский, 11 – Амурский), б – мелкие; 2 – древние скрытые разломы фундамента; 3 – контуры сводов; 4 – оловорудные месторождения [из: Жирнов, 2012, с. 164].

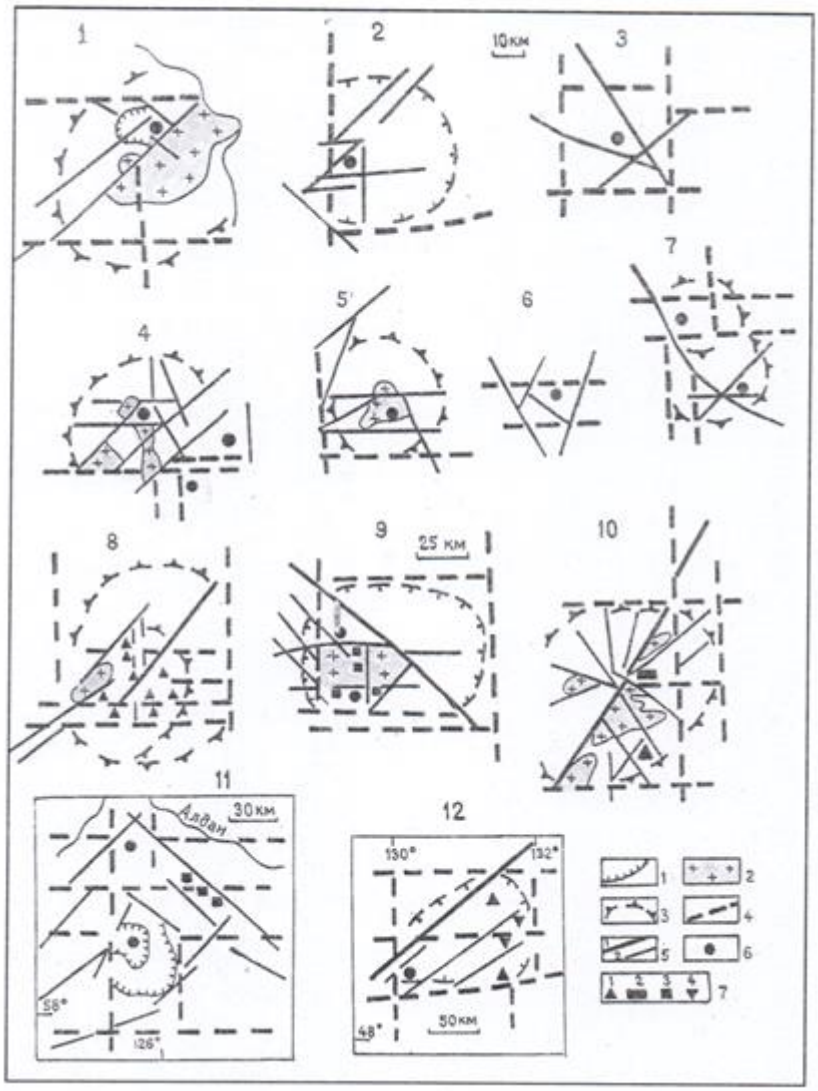


Рис. 14. Упрощенные типовые модели клиновидных тектонических структур золоторудных районов и золотоносных областей Дальнего Востока [Жирнов, 2012, с. 180].

Месторождения золота и рудные узлы:

1 – Многовершинное, 2 – Улага, 3 – Покровское, 4 – Апсаканский рудный узел (А – месторождение Бамское), 5 – Кировское, 6 – Токурское, 7 – Омчакский рудный узел (А – месторождение Наталкинское);

рудные районы:

8 – Комсомольский, 9 – Улканский, 10 – Арму – Дальненский,

рудоносные области:

11 – Центрально-Алданская, 12 – Хинганская.

1 – границы осадочных впадин; 2 – массивы гранитов; 3 – своды;

4 – древние разломы фундамента, активизированные в мезозой – кайнозойское время; 5 – активные молодые разломы (MZ – KZ): 1) крупные,

2) соподчинённые; 6 – 10 – месторождения: 6 – золота, 7 – олова, 8 – вольфрама и золота, 9 – урана, 10 – железа

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Составлена серия схем линейных структур (линеаментов) ВЕП в линейке масштабов: 1 : 3 000 000 и отдельных её участков в масштабах 1: 1000 000, 1: 25 000.

2. Схема линеаментов масштаба 1: 3 000 000 проанализирована с точки зрения потенциальной флюидопроницаемости её структур.

3. Впервые, в виде единой структуры, выделена Балтийско-Ладожско-Онежско-Колгуевская линеаментная зона, характеризующаяся повышенной геодинамической подвижностью, сейсмической активностью и флюидопроницаемостью, что подтверждается гидрохимическими аномалиями, характерными для её СВ-го фланга [Башилов, 1987], и проявлениями урана и шунгита, выявленными в районе Онежского озера [Белашев, Болондинский, 2013].

4. Впервые в «*теле*» ВЕП выделены не только единичные клиновидные структуры, что было сделано и раньше [Полетаев, 1999], но и целые системы клиновидных структур, ориентированных субмеридионально и субширотно.

5. В очередной раз продемонстрированы высочайшие технологические возможности визуального ЛАЗК при поиске, выделении и обосновании скрытых тектонических нарушений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Клиновидные структуры Восточно-Европейской платформы, выявленные с помощью визуального линеаментного анализа топографических карт разного (1: 3 000 000, 1 : 1 000 000, 1 : 25 000) масштаба позволяют **уточнить данные исследований, полученных ранее** [Объяснительная записка к «*Космотектонической карте*…», 1986].

Если «*Космотектоническая карта Восточно-Европейской платформы и её обрамления*» (м - б 1 : 2 500 000) демонстрировала «*более высокую значимость в строении земной коры разрывных нарушений различной морфологии и ранга*» [Объяснительная…, 1986, с. 65/66] и давала *«возможность с новых позиций рассмотреть структурные формы платформенного чехла с учётом большей роли в их строении дизъюнктивных нарушений*» [там же, с. 66], то вновь выделенные клиновидные структуры также позволяют несколько по - новому «*взглянуть*» на структурные закономерности изученного региона, т.к. известно, что «*Правильное определение геометрии тектонических форм или морфологии новейших деформаций земной коры на разных её уровнях является проблемой первостепенной важности, так как эти формы уже сами по себе или в своей совокупности, как известно, несут генетическую информацию*» [Юдахин, Щукин, Макаров, 2003, с. 147].

Полученные результаты свидетельствуют о более сложном соотношении структуры фундамента Восточно - Европейской платформы и её рельефа. По крайней мере, можно

утверждать: **представления** (сформированные на основе изучения Московской синеклизы) о том, что «***разломно-блоковая тектоника фундамента находит достаточно четкое отражение*** *в распределении гидросети и в рельефе поверхности синеклизы*» [Федынский и др., 1975, с. 133], доминировавшие на протяжении почти полувека, **не отвечают или отвечают не полностью**, как показано выше, **реальной геологической ситуации.**

Вероятно, в развитии структур осадочного чехла Восточно-Европейской платформы и «*в распределении гидросети и в рельефе поверхности*» **не меньшую роль сыграли** и экзогенные факторы. В первую очередь к таким факторам должны быть отнесены **гляцио - тектонические процессы**, связанные с периодической сменой (около шести «*смен*» за последние примерно 700 000 лет) нагрузок (**компрессий**) на земную кору **и** последующих разгрузок (**декомпрессий**) в ходе, соответственно, «*наступления*» и «*отступления*» мощных ледовых покровов.

И ещё об одном важном аспекте следует напомнить. Дело в том, что не только особенности структурной организации земной коры так или иначе могут влиять на направленность и интенсивность флюидопотоков, но и сами флюидопотоки могут влиять на активность развития тех или иных структур земной коры.

Огромна и до сих пор ещё не изучена досконально роль воды в образовании и развитии дизъюнктивной, если так можно выразиться, геосферы.

Хотя уже сегодня хорошо известно, что «*Большую роль в развитии трещиноватости играет насыщение её водой и минеральными растворами*» [Кузин, 2014, с. 44]. Более того, показано, что «*вода формирует унаследованное простирание трещиноватости в осадочном чехле*» [там же, с. 48].

Но и это ещё не всё: по мнению одного из видных современных гидрогеологов, «*Практически повсеместное распространение воды в жидком виде на глубинах геологического разреза вплоть до 374ºС, обусловливает, прежде всего, её «расклинивающие» возможности*» [Вартанян, 2015, с. 23].

Полагаем, что только комплексный подход или, выражаясь на современном сленге, геологический «*микс*» в изучении давно назревшей и даже перезревшей проблемы поможет найти более адекватные решения и в теории, и в технологии, и в практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Агибалов А.О., Полетаев А.И., Гордеев Н.А.* Балтийско-Ладожско-Онежско-Колгуевская линеаментная зона (БЛОК) – транзитная (межокеаническая) структура / Тектоника современных и древних океанов и их окраин. Материалы XL1X Тектонического совещания, посвящённого 100-летию академика Ю.М. Пущаровского. – М.: ГЕОС, 2017. С. 102 – 106.

2. *Архангельская В.В*. Линеаментный метод регионального металлогенического анализа // Разведка и охрана недр, 2008, №2. С. 13 – 17.
3. *Ассиновская Б.А., Овсов М.К.* Сейсмотектоническая позиция Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 года // Физика Земли. 2008. №9. С. 32 – 43.
4. *Башилов В. И.* Линейные структуры / В кн.: Космогеология СССР. – М.: «*Недра*», 1987.С. 123 – 127.
5. *Белашев Б., Болодинский В*. Карельская берёза – загадочное дерево Севера / Система «Планета Земля»: 200 лет со дня рождения И.И. Срезневского. 100 лет со дня издания его словаря древнерусского языка. – М.: ЛЕНАНД, 2012. С. 347 – 354.
6. *Белашев Б., Болодинский В*. Карельская берёза – загадочное дерево Севера // «*Наука в России*», 2013, №5.
7. *БогословскийВ. А., Полетаев А.И., Шереметьева Е.В.* Эффективность линеаментного анализа при изучении структуры земной коры / Актуальные проблемы региональной геологии и геодинамики. Материалы конференции, посвященной 104-й годовщине со дня рождения Г.П.Горшкова (1909 –1984). XV Горшковские чтения. М.: МГУ, 26 апреля 2013г. – С.6 – 13.
8. *Бондур В.Г., Зверев А.Т*. Метод прогнозирования землетрясений на основе линеаментного анализа космических изображений // ДАН, 2005. Т.402. №1. С. 98 – 105.
9. *Буш В.А*. Трансконтинентальные линеаменты и проблемы мобилизма // Геотектоника. 1983. №4. С.14 – 25.
10. *Буш В*.А. Анализ Космогеологической карты СССР м-ба 1 : 2 500 000 / Космогеология СССР. М.: Недра, 1987. С. 28 – 80.
11. *Вартанян Г.С.* Геодинамические катастрофы и их прогноз (эндодренаж Земли, деформации, сейсмичность). – М.: ООО «*Геоинформмарк*», 2015. 258с.
12. *Волчанская И.К.* Морфоструктурные и структурно-геоморфологические методы выявления сквозных рудоконцентрирующих и рудолокализующих структур / Космическая информация в геологии. – М.: «*Наука*», 1985, с. 325 – 335.
13. *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 2005г.). Вып.3. – Иркутск. 2005.С. 23 – 25.

14. *Горшков А.И.* Распознавание мест сильных землетрясений в Альпийско-Гималайском поясе / Гл. ред. В.И. Кейлис - Борок; Отв. ред. А.А. Соловьев. М.: КРАСАНД. 2010. 472с. (Вычислительная сейсмология; Вып.40).
15. *Горшков Г.П.* Дизъюнктивная тектоника Копетдага и закон скалывающих напряжений // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология, 1947, №1. С. 103 – 115.
16. *Гуфельд И.Л., Матвеева М.И.* Барьерный эффект дегазации и деструкции земной коры // ДАН, 2011. Т.438. №2. С. 253 – 257.
17. *Дегазация Земли* и генезис нефтегазовых месторождений (к 100-летию со дня рождения академика П.Н. Кропоткина). – М.: ГЕОС, 2012. – 516с.
18. *Егоров И.В., Андреев С.И.* Опыт применения линеаментного анализа при изучении особенностей размещения скоплений глубоководных сульфидных руд на участке «12º 58′ с.ш.», Северо-Атлантический хребет // Геоморфология. 2005. №2. С. 17 – 25.
19. *Езерская Т.А., Успенская Н.Д., Штутин И.М., Егорова Т.Н., Дмитриева Е.В*. Карта аномального магнитного поля (Δ T) а (цветной псевдорельеф). М - б 1 : 2 500 000, 2005г.
20. *Ершов Э.Д., Полетаев А.И., Кучуков Э.З., Брушков А.В., Ершов В.Д.* Структура Ганимеда по данным линеаментного анализа // Ежегодная научная конференция «*Ломоносовские чтения*». 22 – 29 апреля 1998г. Москва. – М.: МГУ.1998. С.78 – 79.
21. *Ершов Э.Д., Полетаев А.И., Кучуков Э.З., Брушков А.В., Ершов В.Д*. О связи процессов криолитогенеза и инфраструктуры Ганимеда (по данным линеаментного анализа) // Вестн. МГУ. Сер.4. Геология. 2000. №2. С.33 – 37.
22. *Жирнов А.М*. Ортогональные линеаменты и геоблоковая делимость Юго-Восточной Азии / Строение и эволюция Востока Азии: 111 Косыгинские чтения. Хабаровск, 2001. С. 25 – 31.
23. *Жирнов А.М*. Металлогения золота Дальнего Востока на линеаментно-плюмовой основе. Владивосток: Дальнаука, 2012. 248с.
24. *Карпинский А.П.* О правильности в очертаниях, распределении и строении континентов // Горный журнал, 1888, №2, с. 252 – 269 / Собрание сочинений. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1939. Т. 11. С . 29 – 46.
25. *Каттерфельд Г.Н.* Планетарная трещиноватость и линеаменты Земли, Венеры, Марса, Меркурия и луны. СПб: 2000. 204с.
26. *Кац Я.Г., Полетаев А.И*. Линеаментная тектоника альпийского горно-складчатого обрамления Восточно-Европейской платформы //Изв. ВУЗов. Геол. и разведка,1983, №3. С. 3 –13.
27. *Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева З.Ф*. Основы линеаментной тектоники. М.: Недра.

1986. 144с.

28. *Копп М.Л.* Мобилистическая неотектоника платформ Юго - Восточной Европы. М.: «*Наука*», 2004. 340с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 552).
29. *Короновский Н.В.* Линеаменты Большого Кавказа и Предкавказья по изображениям на космических снимках и их геологическое истолкование // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1984. №6. С.7 – 18.
30. *Корчуганова Н.И.* Линейные структуры Японского моря // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 1985. №3. С. 104 – 106.
31. *Космическая информация в геологии*. М.: Наука. 1985. 536с.
32. *Костенко Н.П., Макарова Н.В., Корчуганова Н.И.* Выражение в
33. рельефе складчатых и разрывных деформаций. Структурно-геоморфологическое дешифрирование аэрофотоснимков, космических снимков и топографических карт. М.: МГУ,1999.120 с.
34. *Котов Ф.С.* Проявление новейших тектонических (субгляциальных) деформаций в пределах консолидированной коры Балтийского щита / Система «*Планета Земля*» («*Нетрадиционные вопросы геологии*») 1Х научный семинар 2 – 3 февраля 2001г. Материалы. Геологический факультет МГУ. М., РОО Гармония строения Земли и планет, 2001. С. 126 – 128.
35. *Кочев Д. З., Полетаев А.И.* Скрытые тектонические нарушения земной коры: природные факторы – опасные для устойчивого функционирования техногенных сооружений // XII Горшковские чтения. Материалы конференции, посвящённой 101-ой годовщине со дня рождения Г.П. Горшкова (1909 – 1984). – МГУ, 26 апреля 2010г. М.: 2010. С. 10 – 16.
36. *Красный Л.И.* Глобальная система геоблоков. М.: «*Недра*», 1984. 224с.
37. *Красный Л.И.* О клиновидных структурах и граничных углах // Геотектоника, 1987, №4.
38. *Красный Л.И.* Ангулярная тектоника / В кн: Планета Земля. Энциклопедический справочник. Том «Тектоника и геодинамик». Редакторы Л.И. Красный, О.В. Петров, Б.А. Блюман. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. – 652с. (МПР РФ, Федеральное агентство по недропользованию, РАН, ВСЕГЕИ). – С.440 – 441.
39. *Красный Л.И.* Клинораздвиг / В кн: Планета Земля. Энциклопедический справочник. Том «Тектоника и геодинамик». Редакторы Л.И. Красный, О.В. Петров, Б.А. Блюман. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. – 652с. (МПР РФ, Федеральное агентство по недропользованию, РАН, ВСЕГЕИ). – С.512.

40. *Кузин А.М.* О флюидной составляющей процесса образования зон трещиноватости и разрывных нарушений // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2014, №5. С. 43 – 50.
41. *Леонов Ю.Г.* Напряжения в литосфере и внутриплитная тектоника // Геотектоника, 1995, №6. – С. 3 – 21.
42. *Леонов Ю.Г.* Тектоническая подвижность коры платформ на разных глубинных уровнях // Геотектоника, 1997, №4. – С. 24 – 41.
43. *Летников Ф.А*. Сверхглубинные флюидные системы Земли и проблемы рудогенеза // Геология рудных месторождений, 2001, том 43, №4. С. 291 – 307.
44. *Летников Ф.А., Дорогокупец П.И*. К вопросу о роли суперглубинных флюидных систем земного ядра в эндогенных геологических процессах // ДАН, 2001. Т. 378, №4. С. 535 – 537.
45. *Ломакин И.Э.* Линеаменты дна Индийского океана // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2009. №1. С. 5 – 14.
46. *Лопатин Д.В*. Линеаментная тектоника и месторождения-гиганты Северной Евразии // Исслед. Земли из космоса. 2002. №2. С. 77 – 90.
47. *Макаров В.И.* Предварительная карта линеаментов территории СССР // Изв. ВУЗов. Геол.и разведка. 1978. №10. С.30 –34.
48. *Макаров Н.А.* Линеаментная тектоника и структурное районирование северо-восточного Таймыра // Актуальные проблемы региональной геологии и геодинамики. Вторые Горшковские чтения / Материалы конференции. М.: МГУ, 26 апреля 2000г.С. 19 – 21.
49. *Макаров В.И., Бабак В.И., Дорожко 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.
50. *Макаров В.И., Соловьёва Л.И.* Перекрестный структурный план земной коры и проблема проявления её глубинных элементов на поверхности (на примере Тянь-Шаня и Туранской плиты) / Исслед. природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. Т.5. М.: ВИНИТИ, 1976. С. 18 – 42.
51. *Макаров В. И., Щукин Ю. К.* Оценка активности скрытых разломов // Геотектоника. 1979. №1. С. 96 – 109.
52. *Макаров Н.А.* Линеаментная тектоника и структурное районирование северо-восточного Таймыра // Актуальные проблемы региональной геологии и геодинамики. Вторые Горшковские чтения / Материалы конференции. М.: МГУ, 26 апреля 2000г.С. 19 – 21.

53. *Мирошниченко В. П., Березкина Л. И., Леонтьев Е. В.* Планетарная трещиноватость осадочного чехла литосферы (по материалам аэроксмических съёмок». Л.: Недра, 1984. 216 с.
54. *Мукосей Е.В.* Скрытые тектонические нарушения Московского региона (по данным линеаментного анализа)//Актуальные проблемы региональной геологии и геодинамики / / X11 Горшковские чтения. Материалы конференции, посвящённой 101-ой годовщине со дня рождения Г.П. Горшкова (1909 – 1984). – МГУ, 26 апреля 2010г. М.: 2010. С. 7 – 10.
55. *Мушкетов И.В., Мушкетов Д.И.* Физическая геология. Л.-М.: ОНТИ - НКТП СССР. 908с.
56. *Объяснительная записка* к «*Космотектонической карте Восточно - Европейской платформы и ее обрамления*». М – б 1:2 500 000 / Д.М. Трофимов, Я.Г. Кац, А.И. Полетаев / Ред. В.Е. Хаин. – М.: Минвуз СССР, Мингео СССР, 1986. 72с.
57. *Орленок В. В*. Калининградское землетрясение 21 сентября 2004 года // Вестник РГУ им. И. Канта. 2006. Вып. 1. Естественные науки. С. 6 – 11.
58. *Орлов В.И.* Об особенностях распространения некоторых форм рельефа в пределах Западно-Сибирской низменности // Изв. АН СССР. Сер.
59. геогр. 1959. №6. – С. 107 – 111.
60. *Пермяков Е.Н.* Тектоническая трещиноватость Русской платформы. М.: МОИП, Новая серия. Вып. 12 (16). – 1949. 215с.
61. *Полетаев А.И.* Линеаментная делимость земной коры. М.: МГП «*Геоинформмарк*»,1994. 48с.
62. *Полетаев А.И.* Линеаментная тектоника земной коры – структурно-информационная основа карт новейшей геодинамики / Геология, ч.11. Университеты России. М.: МГУ. 1994а. С. 181 – 185.
63. *Полетаев А.И.* Линеаментная геодинамика Русской платформы / Ежегодная научн. конф. «*Ломоносовские чтения*», 23 – 29 апреля 1996г. Тез. докл. М.: МГУ. 1996. С. 49 – 50.
64. *Полетаев А.И.* Сдвиговый пояс Лавразии и его геодинамическое значение // Тектоника Азии. Программа и тезисы совещания. М.: ГЕОС, 1997. С.170 – 173.
65. *Полетаев А.И.* Мультилинеаментная структура Русской платформы / Нетрадиционные вопросы геологии. V1научн. Семинар. Тез. докл.М.: 1998. С.9.
66. *Полетаев А.И.* Дальнодействующие структуры Земли // Актуальные проблемы региональной геологии и геодинамики. Первые Горшковские чтения. М.: МГУ, 26 апреля 1999, с.18 – 19.

67. *Полетаев А.И.* Суперпозиция Русской платформы и некоторые особенности её структурной эволюции // Система планета Земля. Материалы научных семинаров: «*Нетрадиционные вопросы геологии*». М.: 1999а, с.150 – 161.
68. *Полетаев А.И.* Сдвигово - ротационная модель структурной эволюции Русской платформы. М.: ЗАО «*Геоинформмарк*». 2000. 44с.
69. *Полетаев А.И.* Линеаментный метод // Экологический вестник. 2001. №3. С. 12 – 28.
70. *Полетаев А.И.* Транзитивные (переходные) структуры земной коры / Международная конференция, посвящённая памяти Виктора Ефимович Хаина. М.: МГУ, 1 – 4 февраля 2011 года. С. 1473 – 1476.
71. *Полетаев А. И.* Скрытые структуры земной коры – генераторы природных и техногенных катастроф // Экологический вестник. №11. М.: 2011а. С. 41 – 48.
72. *Полетаев А.И.* «*Особые*» структурные формы геологического пространства / Геологическая среда, минерагенические и сейсмотектонические процессы. Материалы XV111 Международной конференции 24 – 29 сентября 2012 года. Воронеж, ИПЦ «*Научная книга*». 2012. С. 274 – 279.
73. *Полетаев А.И.* Технологические возможности линеаментного анализа при выявлении скрытых тектонических нарушений // Международный журнал «*Геотехника*». 2014. №3. С. 16 – 22.
74. *Полетаев А.И.* Клиновидная тектоника Земли // Актуальные проблемы региональной геологии и геодинамики/ XV11 Горшковские чтения. Материалы конференции, посвящённой 106-й годовщине со дня рождения Г.П. Горшкова (1909 – 1984). МГУ, 28 апреля 2015г. М.: МГУ, 2015. С. 30 – 33.
75. *Полетаев А.И.* Неотектоника и особые структурные формы земной коры / Структурно - геоморфологические исследования для решения задач неотектоники геодинамики / Материалы конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения Н.П. Костенко (1915 – 2015). М.: МГУ, 29 сентября 2015г. М.: МАКС Пресс, 2015а. – С. 47 – 50.
76. *Полетаев А.И.* Клиновидная тектоника Земли / Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ // Материалы XLV111 Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2016, т. 2. С. 79 – 83.
77. *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, посвящённой 107-й годовщине со дня рождения Г.П. Горшкова (1909 – 1984). МГУ, 28 апреля 2016г. М.: МГУ, 2016а. С. 12 – 23.

78. *Полетаев А.И.* Трещиноватость коренных пород и линеаменты южного крыла Московской синеклизы (в т.н. «*Река Зуша*») / Труды всероссийской научной конференции «*Актуальные проблемы динамической геологии при исследовании платформенных областей*». Москва, 24 – 26 мая 2016г.С. 121 – 124.
79. *Полетаев А.И.* Клиновидные структуры земной коры // /Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. – 2016, т. 91, № 4 – 5. – С. 40 – 50.
80. *Полетаев А.И.* Скрытые тектонические нарушения Северного Ледовитого океана (по данным линеаментного анализа) /Тектоника современных и древних океанов и их окраин. Материалы XL1X Тектонического совещания, посвящённого 100-летию академика Ю.М. Пущаровского. – М.: ГЕОС, 2017. Т.11. С. 78 – 81.
81. *Полетаев А.И.* Особенности глубинного строения Арктики (по данным линеаментного анализа) / География арктических регионов. Коллективная монография по материалам Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петебург, РГПУ им. А.И. Герцена, 9 – 10 ноября 2017.– СПб.: Типография ООО «*Старый город*», 2017. – С.45 – 49.
82. *Полетаев А.И., Агибалов А.О.* Балтийско-Ладожско-Онежско-Колгуевская (Приарктическая) линеаментная зона и её проявление на планетарном, региональном и локальном уровнях / География арктических регионов. Коллективная монография по материалам Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петебург, РГПУ им. А.И. Герцена, 9 – 10 ноября 2017.– СПб.: Типография ООО «*Старый город*», 2017. – С.42 – 45.
83. *Полетаев А.И., Агибалов А.О. Гордеев Н.А.* Балтийко-Ладожско-Онежско-Колгуевская зона как показательный пример поиска, выделения и обоснования скрытых тектонических нарушений земной коры /Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. – 2016, т. 91, № 4 – 5. – С. 90 – 96.
84. *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. высш. учеб. заведений. Геол. и разведка, № 1, 1992, с. 16 – 22.
85. *Полетаев А.И., Кац Я.Г., Румянцева Э.Ф.* и др. Природа линеаментов и их роль в современной геодинамике (на примере сочленения платформ Евразии и Гондваны) / Тезисы 27 - го Междунар. Геол. Конгресса. Т.V111. М.: 1984. С. 244 – 245.
86. *Расцветаев Л.М.* Закономерный структурный рисунок земной поверхности и его динамическая интерпретация / Проблемы глобальной корреляции геологических явлений. М.: «*Наука*», 1980. С. 145 – 195.

87. *Расцветаев Л.М.* Глобальные сдвиги и зоны скалывания планетных тел / Роль сдвиговой тектоники в структуре литосфер Земли и планет земной группы. СПб.: «*Наука*», 1997. С. 547 – 559.
88. *Сенин Б.В.* Планетарные линейные объекты и их иерархия по геолого-геоморфологическим, гравиметрическим и космосъёмочным данным высоких уровней генерализации / Космическая информация в геологии. М.: «*Наука*», 1985. С. 276 – 287.
89. *Сидоров А.А., Волков А.В., Глотов В.Е.* О связях рудоконтролирующих разломов с послемеловыми осадочным бассейнами и проявлениями углеводородов // ДАН. 2009. Т.429. №3. С. 374 – 377.
90. *Синицын А. В., Ермолаева Л. А., Станковский А. Ф., Соболев В. К., Погорельский А. И., Столбов С. М., Каменцев А. В.* О мезозойской тектонической и магматической активизации Северной части Русской плиты // ДАН, 1986. Т.287. №6. С. 1458 – 1461.
91. *Трифонов В. Г.* Неотектоника Евразии. М.: Научный мир, 1999. 252с. (Труды ГИН РАН; Вып. 514).
92. *Удоратин В.В., Магомедова А.Ш., Езимова Ю.А.* Радоновая активность разломов Кировско-Кажимской зоны сейсмической интенсивности / Активные разломы и их значение для оценки сейсмической опасности: современное состояние проблемы. Материалы X1X научно-практической конференции с международным участием. 7 – 10 октября 2014. Конференция посвящена памяти учёного геолога-геофизита Ю.К. Щукина. Воронеж, ИПЦ «*Научная книга*». 2014. С. 412 – 415.
93. *Федынский В.В., Соколов Б.А., Страхова Н.А., Фельдт* Средне - Русский авлакоген – древний аналог современных рифтовых образований // Советская геология, 1975, №1. – С. 129 – 134.
94. *Чебаненко И.И.* Основные закономерности разломной тектоники земной коры. Киев, изд - во АН УССР, 1963. 156с.
95. *Чистова З.Б., Кутинов Ю.Г., Минеев А.Л.* Современная дегазация разломов Севера Русской плиты /Активные разломы и их значение для оценки сейсмической опасности: современное состояние проблемы. Материалы X1X научно-практической конференции с международным участием. 7 – 10 октября 2014. Конференция посвящена памяти учёного геолога-геофизита Ю.К. Щукина. Воронеж, ИПЦ «*Научная книга*». 2014. С. 440 – 445.
96. *Щукин Ю. К.* Геофизические исследования в сейсмоопасных зонах СССР / Основные проблемы сейсмотектоники. М.: «*Наука*», 1986. С. 10 – 24.
97. *Щукин Ю.К., Краснопевцева Г.В., Фирсова Дж. Б.* и др. Исследование земной коры и верхней мантии сейсмоопасных зон территории СССР. М.: «*Наука*», 1984. 200с.

98. *Юдахин Ф. Н., Щукин Ю.К., Макаров В.И.* Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург, УРО РАН, 2003. 300с.
99. *Эринчек Ю. М., Мильштейн Е. Д.* Системы разломов Восточно-Европейской платформы // Материалы XXXV1 Тектонического совещания: «*Тектоника и геодинамика континентальной литосферы*». – М.: 2003. Т. 2. С. 318 – 322.
100. *Hobbs W.N.* Lineaments of the Atlantic border region // Bull. Geol. Soc. Amer.,1904. Vol. 15. P.483 – 506.
101. *Plaifair J.* Illustrations of the Huttonian theory, London, 1802.

***

Статья написана по результатам работ по кафедральной программе: «*Новейшая геодинамика и её влияние на фильтрационные свойства геологической среды*» (Руководитель программы В.А. Зайцев).

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОВРЕМЕННОГО ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ НА ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ КЛАССИЧЕСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.

Зайцев В.А., Панина Л.В.
Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии

ВВЕДЕНИЕ

При разработке большинства нефтяных и газовых месторождений необходимо учитывать наличие естественной трещиноватости продуктивных пластов. Решение данной проблемы особенно актуально, когда наблюдаются резкие изменения в работе близко расположенных друг от друга добывающих или нагнетательных скважин, за счет контрастных значений проницаемости коллектора. Рассмотренное в данной работе небольшое нефтяное месторождение, расположенное на севере Иркутской области, относится именно к таким структурам. При этом возникает необходимость определить, какая доля флюидного потока будет фильтроваться по трещинам, а какая по межзерновым порам (классический коллектор). В том случае, если трещины имеют значительную густоту и степень раскрытости, их влияние может быть определяющим для величины флюидной проницаемости пласта. При прочих равных условиях, распределение флюида в пределах природного резервуара определяется двумя факторами - степенью проницаемости горных пород и характером их напряженного состояния. Причем, напряженное состояние обусловливает не только направление и скорость миграции флюида, но и оказывает значимое влияние на величину проницаемости самих горных пород. Особо отметим, важность изучения именно современного поля напряжений определяющего тектоническую активность трещин.

Таким образом, главная цель данной работы – создать трехмерную геомеханическую модель усть-кутского горизонта (V_2) и оценить фильтрационные параметры коллектора, связанные с современной тектонической активностью данного месторождения. В стандартном методе двойного пространства все ячейки имеют двойные свойства. Первичная пористость и проницаемость, связанная с межзерновыми параметрами терригенного коллектора, изучается с помощью традиционных методов. Вторичная – с помощью специальных геофизических методов, позволяющих прогнозировать плотность, апертуру и ориентировку систем трещин. Исследуемое месторождение обладает именно таким – сложным коллектором. Это обстоятельство подтверждается множеством независимых фактов. Во-первых, значительным различием в производительности эксплуатационных скважин, зачастую расположенных недалеко друг от друга. Во-вторых, анизотропией фильтрационных параметров между скважинами, особенно ярко проявившуюся в результате трассирования фильтрационных потоков мечеными жидкостями. В-третьих, высокой степенью статистической зависимости между дебитами скважин и структурными параметрами геологической среды.

Расчет вторичной или трещинной проницаемости выполняется с помощью программного модуля Dual-Porosity Modelling. Основные этапы технологии оценки вторичной флюидной проницаемости горных пород показаны на рисунке 1.

Итак, для оценки вторичной флюидной проницаемости необходимо с помощью геомеханической модели реконструировать поле тектонических напряжений, формирующих трещиноватость, построить вероятностную модель распределения трещин и рассчитать трещинную проницаемость.

В данной работе реализована технология оценки вторичной флюидной проницаемости горных пород с помощью программного комплекса IrapRMS компании ROXAR. В результате выполненных исследований было установлено, что изучаемая территория испытывает

современное сдвиговое поле напряжений, с юго-западной ориентировкой оси максимального сжатия (Зайцев, 2015; Зайцев, 2017; Керимов, 2016)

Рис. 1. Технология оценки вторичной флюидной проницаемости горных пород

С помощью геомеханической модели, построенной методом граничных элементов (Elastic Stress), удалось установить шесть параметров, определяющих появление новых или изменение степени раскрытости существующих трещин. Это – величина и ориентировка максимальных касательных напряжений, вероятность появления новообразованных трещин, перемещения, рассчитанные по трем осям X, Y, Z, плотность трещиноватости, выявленной с помощью специального сейсмического атрибута Stochastic Enchanced CC.

Используя данные параметры, была построена аналитическая модель трещиноватости с помощью программного модуля «Fracture modelling». Далее, используя метод двойного пространства, было построено распределение трещинной проницаемости и проведено сопоставление полученных данных с добычными характеристиками 6-ти скважин. Сравнение трещинной и поровой проницаемости показало, что эти данные существенным образом дополняют друг друга.

ПОСТРОЕНИЕ 3D ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.

На первом этапе работ необходимо установить современную ориентировку внешнего сжатия и тип напряженного состояния. Использование структурных особенностей (ориентировка древних разрывных нарушений), или результатов волнового акустического каротажа (аппаратура АВАК) дает нам представление о поле тектонических напряжений, предшествующих новейшему геологическому этапу. В данной работе нас больше интересует современное поле напряжений, определяющее современные фильтрационные процессы. Как показывает геологическая история Иркутского региона, современное поле напряжений отличается от древнего (по-видимому, триасового (?) возраста). Общие представления о современном поле напряжений дает анализ сейсмичности территории, в частности, использование решений фокальных механизмов землетрясений. Сам факт наличия эпицентров землетрясений говорит о современной активности региона, а о характере напряженного состояния можно судить по нодальным плоскостям механизмов очагов и ориентацию главных осей напряжений растяжения (T) и сжатия (P), под действием которых и происходит подвижка. Отметим, что Байкальская рифтовая зона зародилась

на месте Саяно-Байкальского сводового поднятия под действием активных тектонических движений, начавшихся в эоцене-олигоцене и продолжающихся в настоящее время. Черты современного напряженно-деформированного состояния в Байкальской рифтовой зоны были установлены благодаря массовому изучению фокальных механизмов, начавшемуся во второй половине 60-х годов [Введенская, Балакина, 1960; Введенская, 1961; Мишарина, 1967,1979; Балакина и др., 1972; Мишарина, Солоненко, 1972, 1977; Мишарина и др., 1983; Солоненко и др., 1993, Мельникова, Радзиминович, 1998 и др.]. Таким образом, современное напряженное состояние юга-восточной части Сибирской платформы связано с растущим под Байкалом поднятием, которое вызвало в осевой части растяжение северо-западной ориентировки, при субвертикальным положении оси сжатия, которое по мере удаления от Байкала сменятся на северо-западное сжатие. Местоположение рассматриваемого месторождения соответствует именно этому характеру напряженного состояния. Тем не менее необходимо убедится в правильности выбора ориентировки внешнего сжатия и выбора типа напряженного состояния. Для решения этой задачи программный модуль RMSFracture программы IrapRMS предоставляет пользователю инструмент, с помощью которого можно оценить комплекс геодинамических параметров таких как: вертикальные и горизонтальные перемещения в модели (Displacement X,Y,Z), значения максимальных и минимальных касательных напряжений (Shmax, Shmin), вероятность появления новообразованных трещин (Fracture Likelihood) и др. Для расчёта горизонтальных напряжений необходимо учитывать статический модуль Юнга и статический коэффициент Пуассона. В нашей модели были использованы данные приведенные в отчете АО «Центральная геофизическая экспедиция» (АО «ЦГЭ») В частности, в данном отчете приведены результаты исследования прочностных свойств пород (трёхосное сжатие) и сопутствующие расчеты статических свойств пород (модуль Юнга и коэффициент Пуассона) выполненные с помощью кернового материала компанией ООО «Арктик-ГЕРС» по скважинам 302, 305 (общее количество образцов 34 шт.). В представленной геомеханической модели использовались средние значения модуля Юнга и коэффициента Пуассона. Задавая различные ориентировки внешнего поля напряжений и типов приложения нагрузок можно получить все возможные распределения указанных выше параметров. Затем необходимо сопоставить полученные данные с добычными параметрами скважин и выбрать тот вариант нагружения, который будет статистически наиболее тесно с ними связан. Моделирование проводилось с интервалом в 20^0 и для трех типов приложения нагрузки – взбросовым, сбросовым и сдвиговым. Таким образом, всего было рассчитано 27 геомеханических моделей (Рис. 2). В качестве параметров работы скважин были использованы величины накопленной добычи нефти (НДН) и средние дебиты добычи нефти вертикальными скважинами (339,325,003,307,326 и 071)(Рис. 3). Сравнение проводилось с помощью коэффициента корреляции Пирсона. В результате выполненных исследований установлено, что статистически максимальное влияние на работу скважин оказали параметры геомеханической модели с ориентировкой оси сжатия $\sigma_3=150^0$, а осью растяжения $\sigma_1=60^0$, при сдвиговом типе поля напряжений. Установленное юго-восточное сжатие рассматривается как граничное условие при построении модели. Согласно концепции, разработанной Barton, Zoback, в резервуаре с разнонаправленными по отношению к текущему полю напряжений трещинами, проводящими (открытыми) будут те трещины, которые являются критически напряженными. В критически напряженном состоянии находятся трещины и разломы, азимут которых совпадает с азимутом Sh max или не превышает его на ±30°. Такие трещины и разломы являются преимущественно открытыми и благоприятными для перетоков флюида в пределах резервуара.

Для моделирования трещиноватых залежей необходимо корректно использовать исходную геологическую информацию. В результате моделирования, создается интегрированная залежь с трещиновато-пористой средой, где свойства трещин зависят от большого числа геологических факторов. Проблема моделирования месторождений решается простым объединением большого числа доступных данных в согласованных моделях. Исходными

данными, необходимыми для построения модели трещиноватого коллектора, являются ориентировка и плотность трещин. Эти данные в косвенном виде содержатся в атрибутах геомеханических карт напряженного состояния.

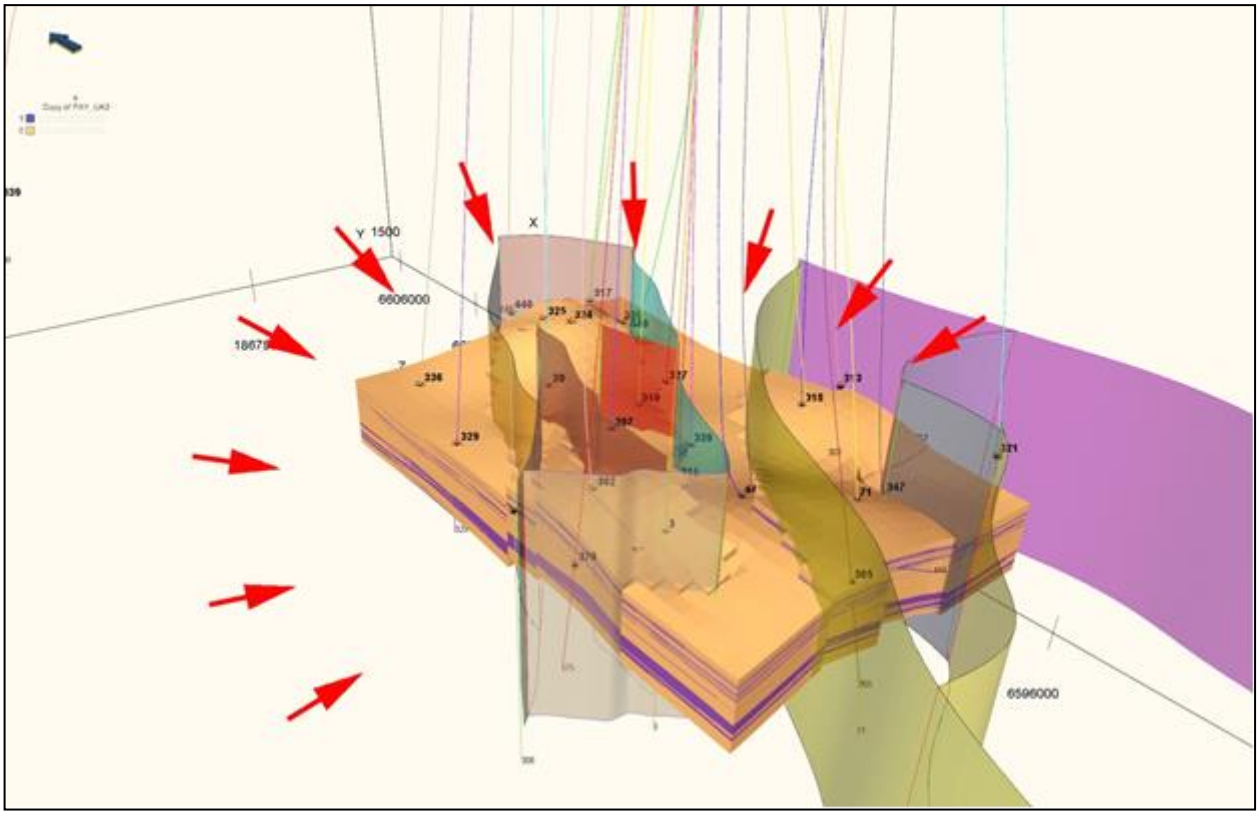


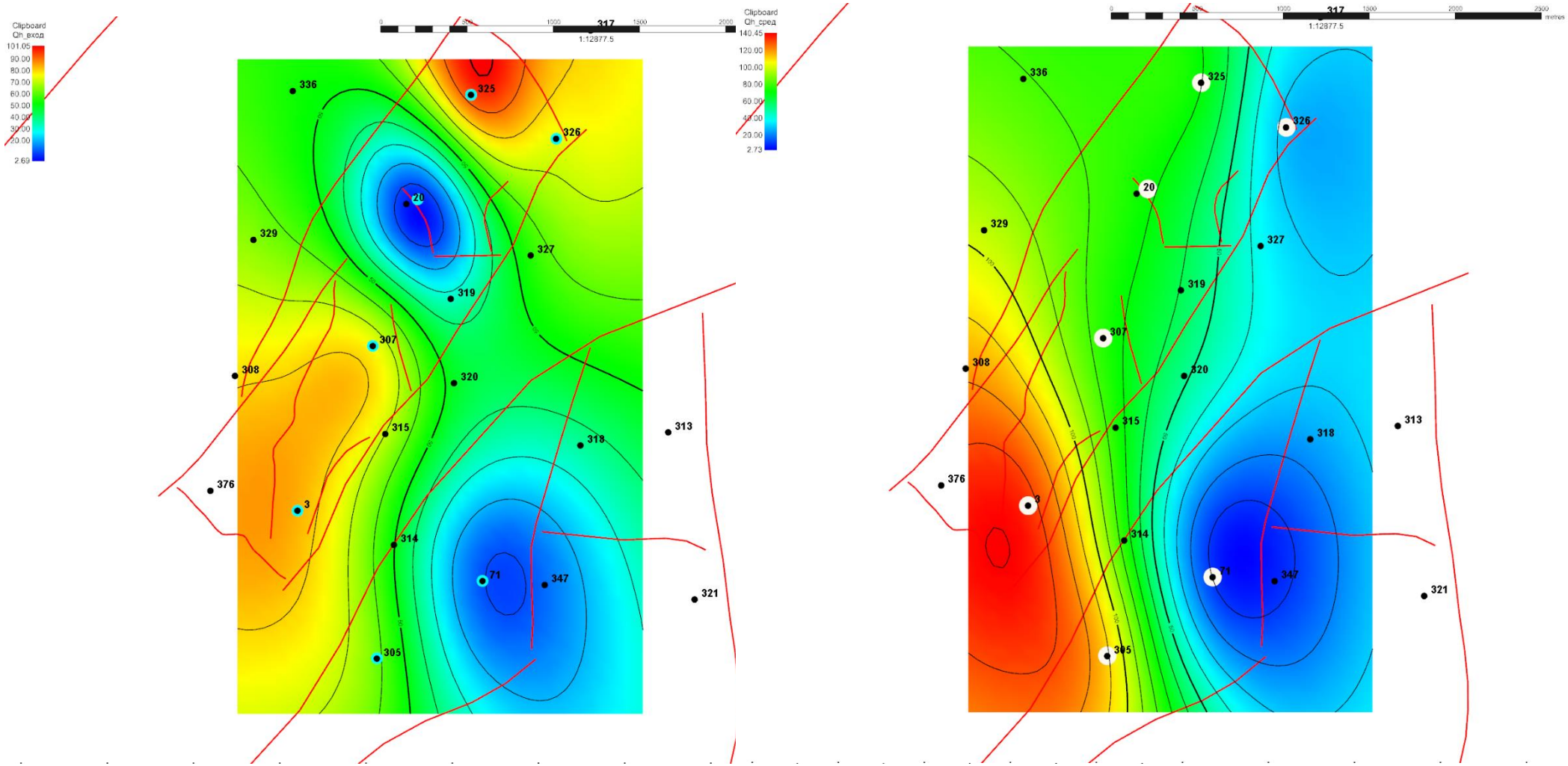
Рис. 2. Общий вид 3D геодинамической модели восточной части рассматриваемого месторождения. Стрелками показаны варианты ориентировок приложенных внешних нагрузок (пояснения в тексте).

Напряженное состояние коллектора в программном модуле RMSFracture моделируется с помощью упругой конечно-элементной модели (Elastic Stress). Данный метод позволяет сравнительно точно описывать возможные контактные взаимодействия, в том числе при больших величинах деформации, с образованием складок, а также моделировать процесс образования трещин в результате деформирования при выполнении заданных критериев разрушения. При этом региональное поле напряжений рассматривается как граничное условие. В результате приложенной нагрузки происходит смещение по существующим разломам, что приводит к появлению локального поля напряжений. Основной целью такого (геомеханического) моделирования является выявление локального поля напряжений и оценка его влияния на появление новых или изменение степени раскрытости существующих трещин.

Помимо этого, реконструкция напряженно-деформированного состояния горного массива (пространственное распределение осей эллипсоида напряжений и зон пригрузки и разгрузки) имеет первостепенное значение для прогноза проницаемости нефтенасыщенных пластов. В данной модели были рассчитаны следующие параметры:

- горизонтальное сжатие, вызванное тектоническими процессами,
- горизонтальное растяжение, вызванное тектоническими процессами,
- вероятность появления новообразованных трещин,
- смещение вызванные горизонтальным сжатием по осям X,Y,Z.

На рисунках 4 и 5 показаны распределения относительной величины максимальных сжимающих и растягивающих напряжений в пределах исследуемой территории. Интересно отметить, что большинство максимумов на схеме Sh max ориентированы в субширотном и



А Б

Рис. 3. Схемы распределения входных – А и средних дебитов – Б вертикальных скважин (339,325,003,307,326 и 071) нефтяного месторождения.

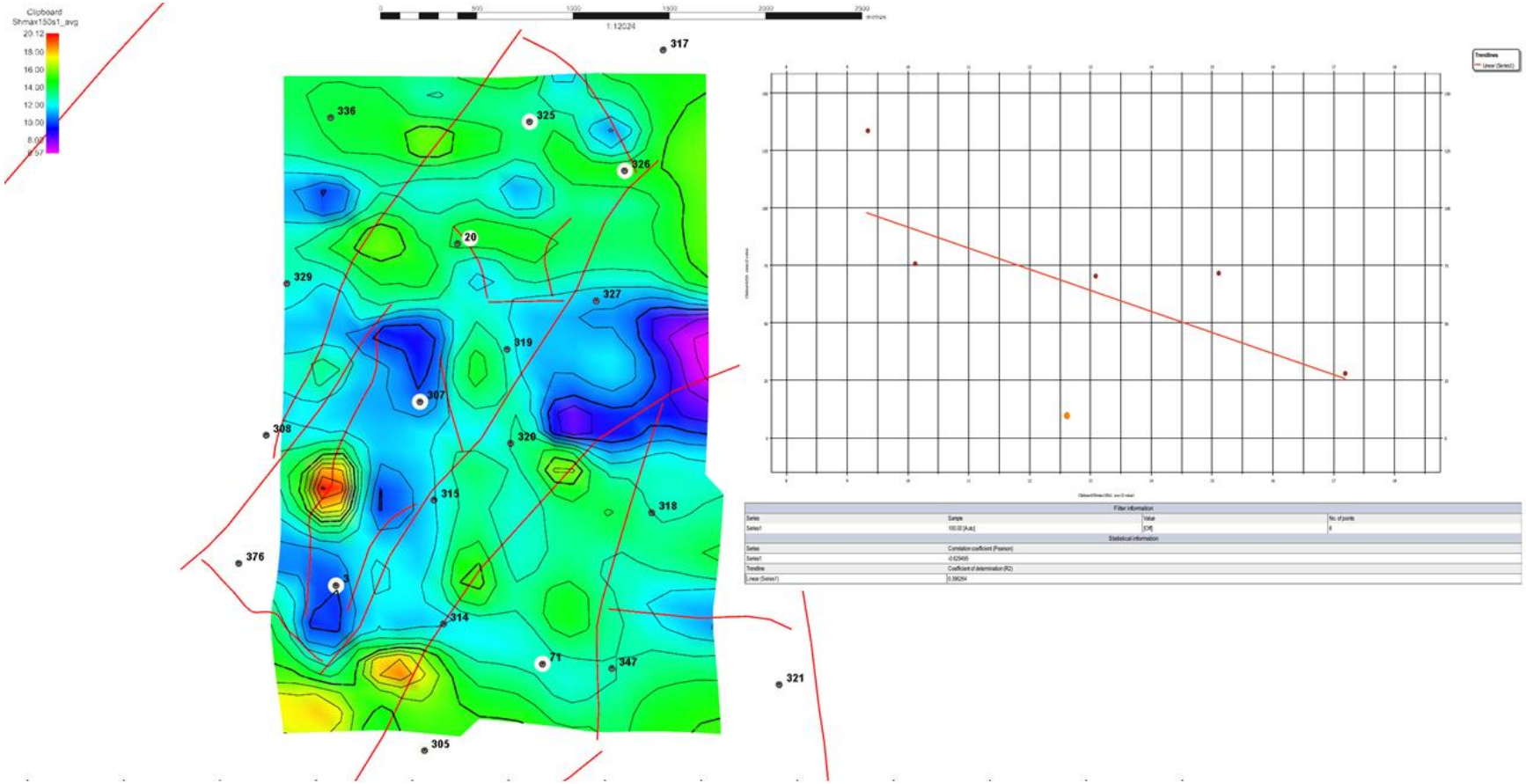


Рис. 4. Элементы геомеханической модели величина максимальных сжимающих напряжений (Sh_max) и график зависимости значения Sh_max от средних дебитов горизонтальных скважин (коэффициент корреляции К=-0.62)

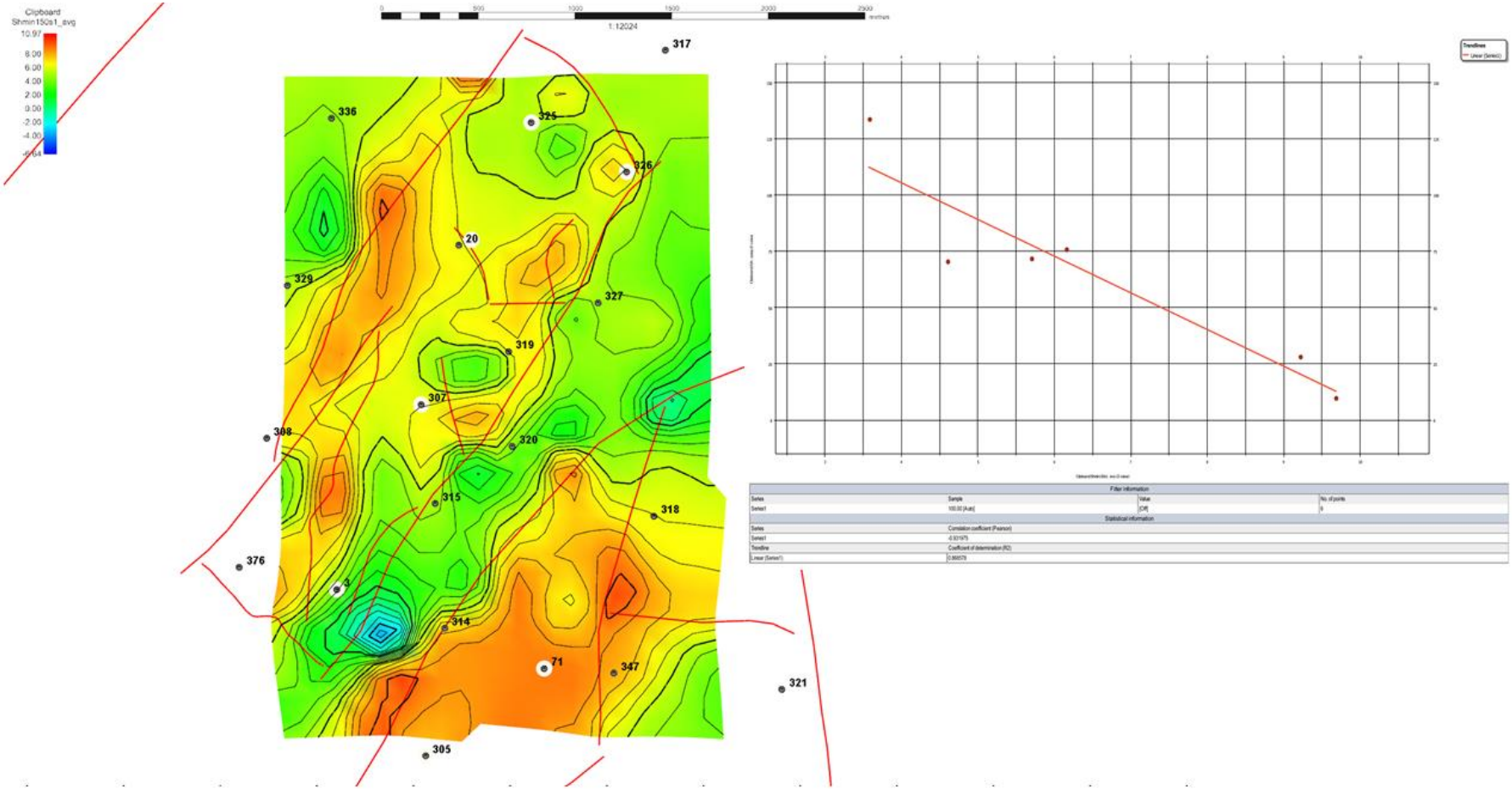


Рис.5. Элементы геомеханической модели величина максимальных сжимающих напряжений (Sh_min) и график зависимости значения Sh_min от средних дебитов горизонтальных скважин (коэффициент корреляции К=-0.93).

субмеридиональном направлениях, в то время как максимумы Sh min имеют ярко выраженную северо-восточную ориентировку. Оценивая напряженное состояние рассматриваемого региона в целом, следует отметить, что максимальные сжимающие напряжения приурочены к сводовым частям поднятий, в то время как максимальные растягивающие напряжения приурочены к бортам поднятий. Сопоставление данных параметров с характером работы добывающих скважин (Qср.) позволил выявить высокую степень отрицательной корреляции между ними (К= -0.62 и -093 соответственно).

Инструмент моделирования напряжений IrapRMS содержит ряд дополнительных операций обработки, для того, чтобы сделать выходные параметры более удобными для интерпретации. К ним относится параметр «Fracture Likelihood», которые можно перевести как «вероятность появления трещин». Расчеты появления новообразованных трещин в горных породах делаются на основании математической модели Мора — Кулона, описывающей зависимость появления касательных напряжений от величины приложенных нормальных напряжений. Fracture Likelihood имеет диапазон значений от положительных до отрицательных. При этом, положительные значения Fracture Likelihood указывают на преодоление предела прочности пород в рассматриваемой ячейки, а отрицательные значения – на стабильные условия и не вызывающие появления трещин. Проведенные расчеты позволили сделать ряд выводов, отражающих общий характер появления новообразованных трещин (Рис. 6). Во-первых, площадь появления новообразованных трещин значительно уступает стабильным, слабо деформированным территориям. Во-вторых, наиболее деформированным участком является центральная часть рассматриваемой территории, вытянутая в северо-восточном направлении параллельно двум крупным разрывным нарушениям. Данный параметр также хорошо коррелируется со средними дебитами работы добывающих скважин (Qср.), но при этом имеет положительное значение коэффициента Пирсона (К= 0.80).

Рассмотрим эффект, возникающий за счет величины смещения ячеек сетки по разломам (метод Displacement Discontinuity). Это достаточно часто используемый метод, основная идея которого заключается в том, что разломы и трещины разделяются на ряд сегментов. Значения перемещения по разломам в каждом сегменте считаются априори неизвестными. Решение осуществляется с помощью дифференциальных уравнений (Landau и Lifshitz, 1959). Размер сегментов выбирается автоматически в направлении x и y и зависит от разрешения сетки. Направление z контролируется пользователем и определяется вертикальным размером разлома. Таким образом, можно рассчитать величину перемещения по трем направлениям параллельным ребрам сетки (по X, Y, Z).

Для восточной части рассматриваемого месторождения данные параметры имеют (Рис. 7-9) особое значение. Параметр смещения по Z показывает, что на новейшем тектоническом этапе осевая часть складки поднималась, причем особенно интенсивно на юго-западе, в районе скважины 3. Отметим, что с ростом поднятия растут и средние дебиты скважин. Коэффициент корреляции составляет К=0.89. Сопоставление смещений по оси Y с характером производительности эксплуатационных скважин позволил выявить тренд увеличения дебитов скважин с ростом амплитуд горизонтальных перемещений (Рис. 8.). График зависимости между средними дебитами нефти и амплитудой горизонтальных перемещений указывает на прямую зависимость. Коэффициент корреляции между данными параметрами составляет К=0.91. Принципиально иная картина наблюдается для параметра смещения по X. Здесь средние дебиты растут с уменьшением величины X. Коэффициент корреляции составил К= -0.66.

Напомним, что для описания сложных коллекторов, обладающих значительным количеством трещин, при моделировании фильтрационных процессов в пласте применяется метод двойного пространства (двойной пористости и проницаемости), позволяющий строить гидродинамические модели высокой степени точности. В стандартном методе двойного пространства все ячейки имеют двойные свойства. Первичная пористость и проницаемость, связанная с межзерновыми параметрами терригенного коллектора, изучается с помощью

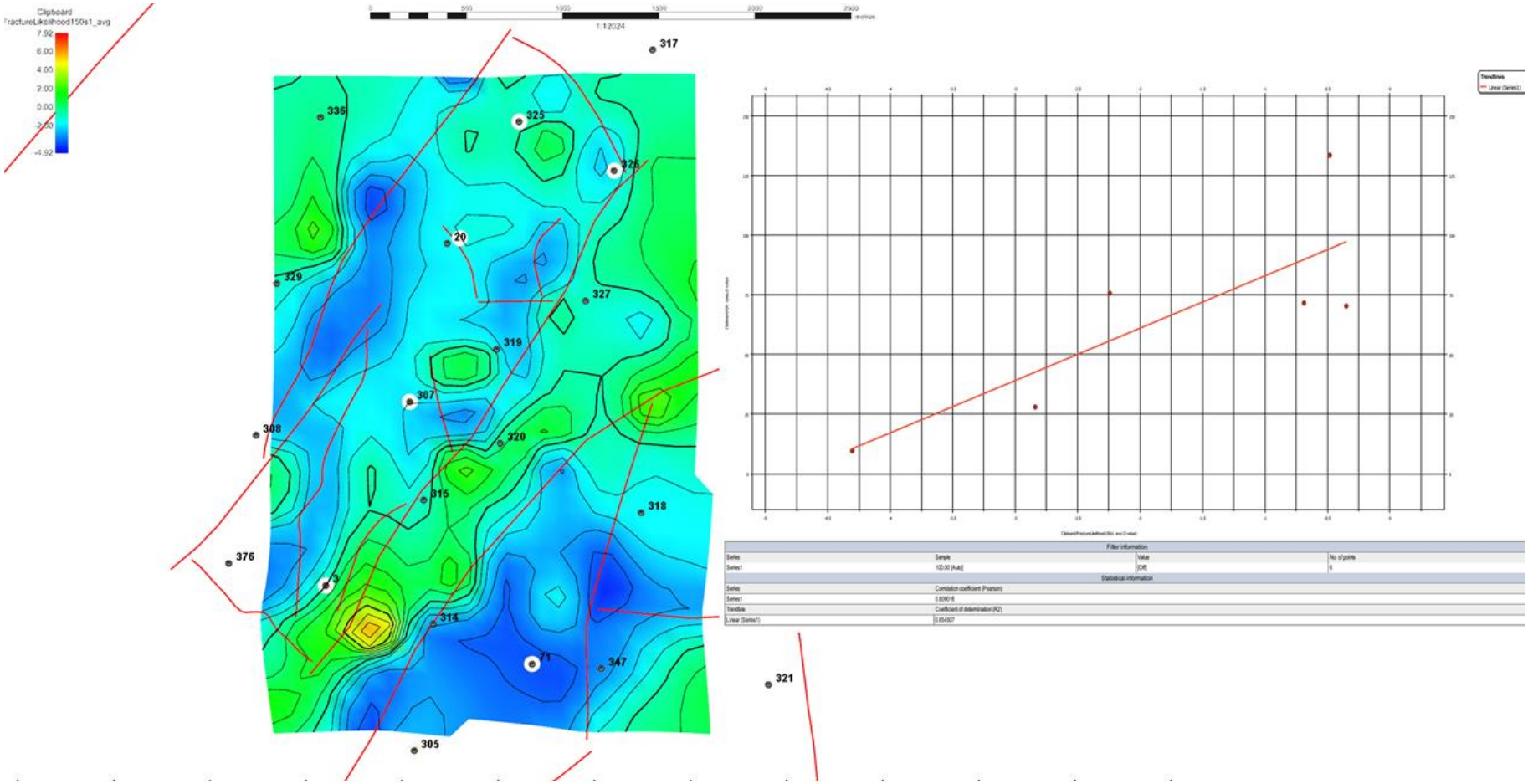


Рис.6. Элементы геомеханической модели вероятность появления вторичной трещиноватости и график зависимости вероятности появления вторичной трещиноватости от средних дебитов горизонтальных скважин (коэффициент корреляции К=0.80)

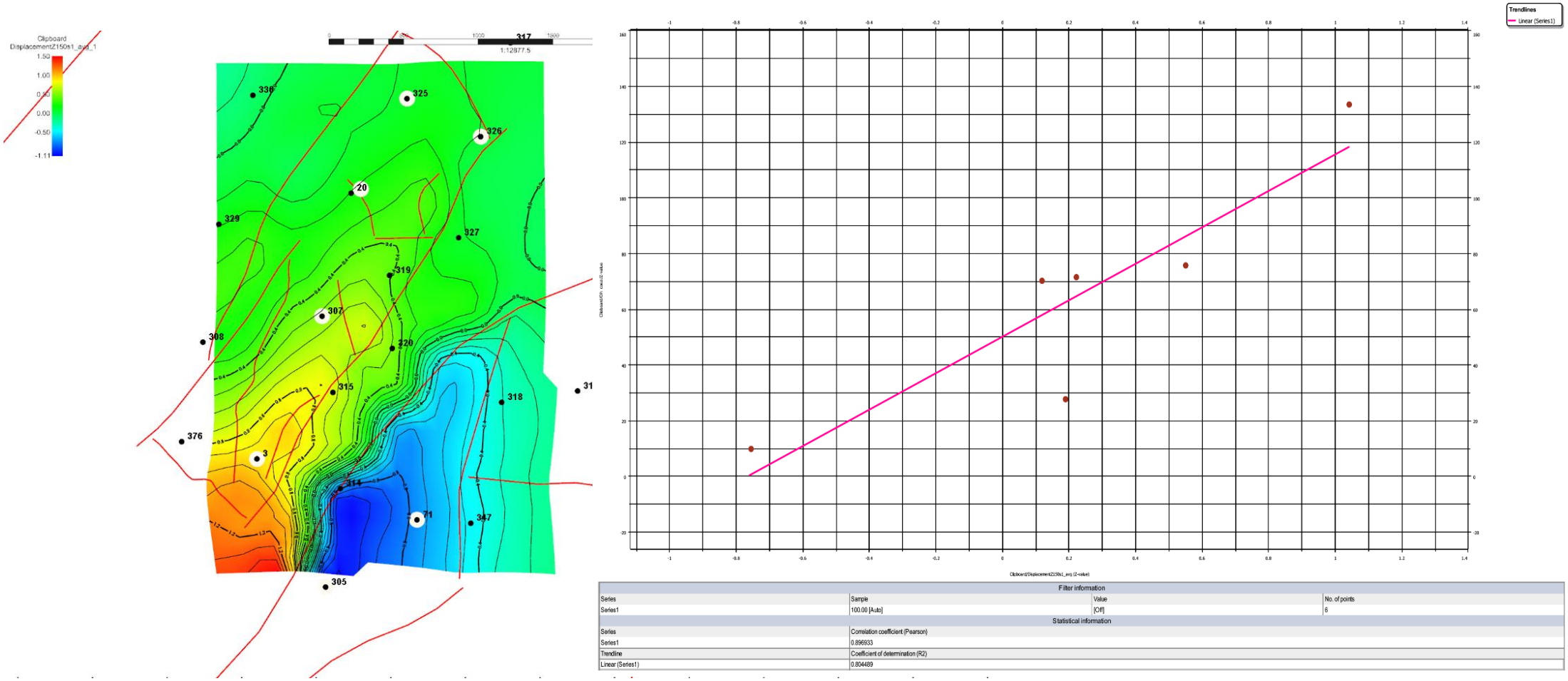


Рис. 7. Элементы геомеханической модели смещение по Z (Displacement Z) и график зависимости значения средних дебитов от величины смещение по Z (коэффициент корреляции К=0.89)

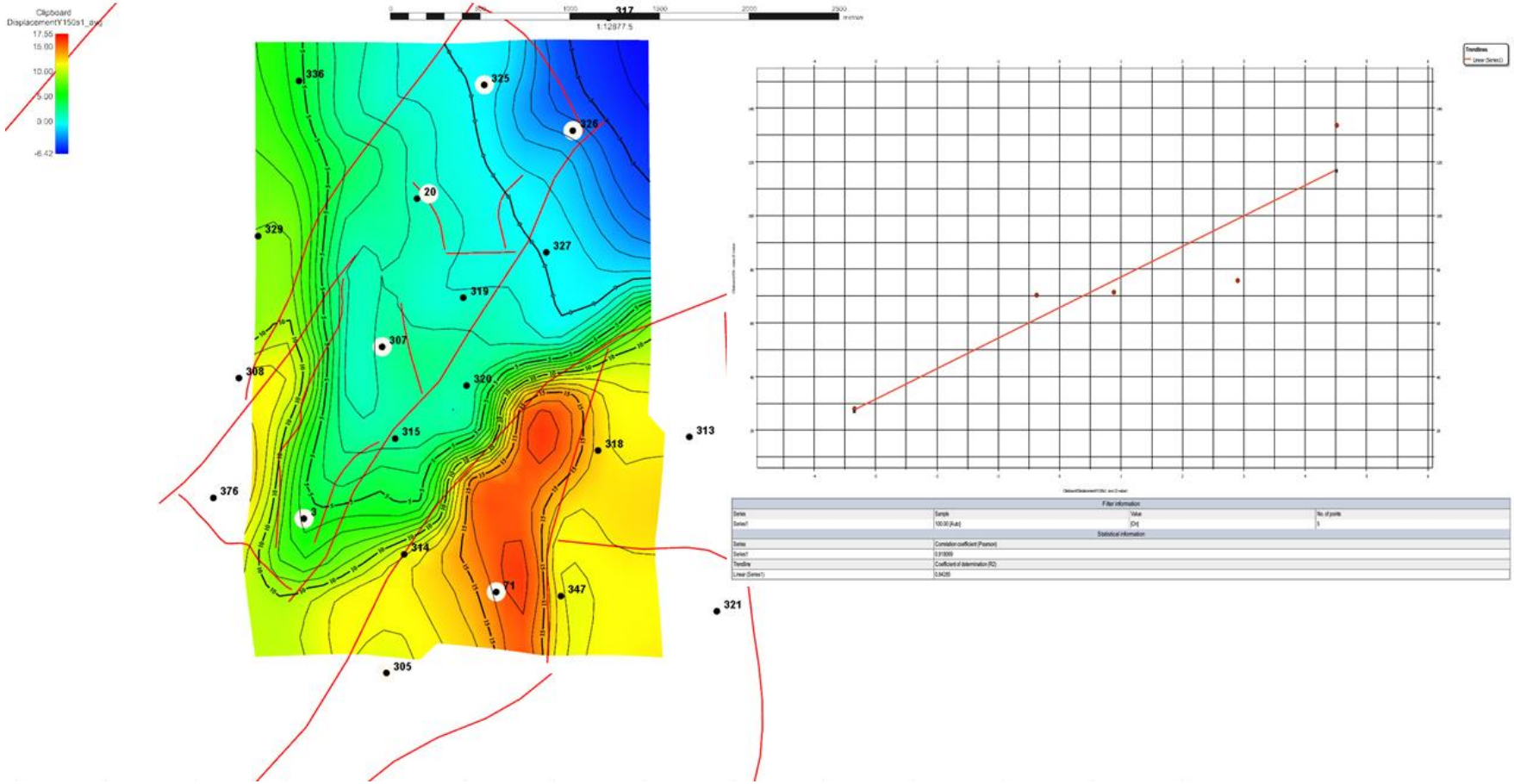
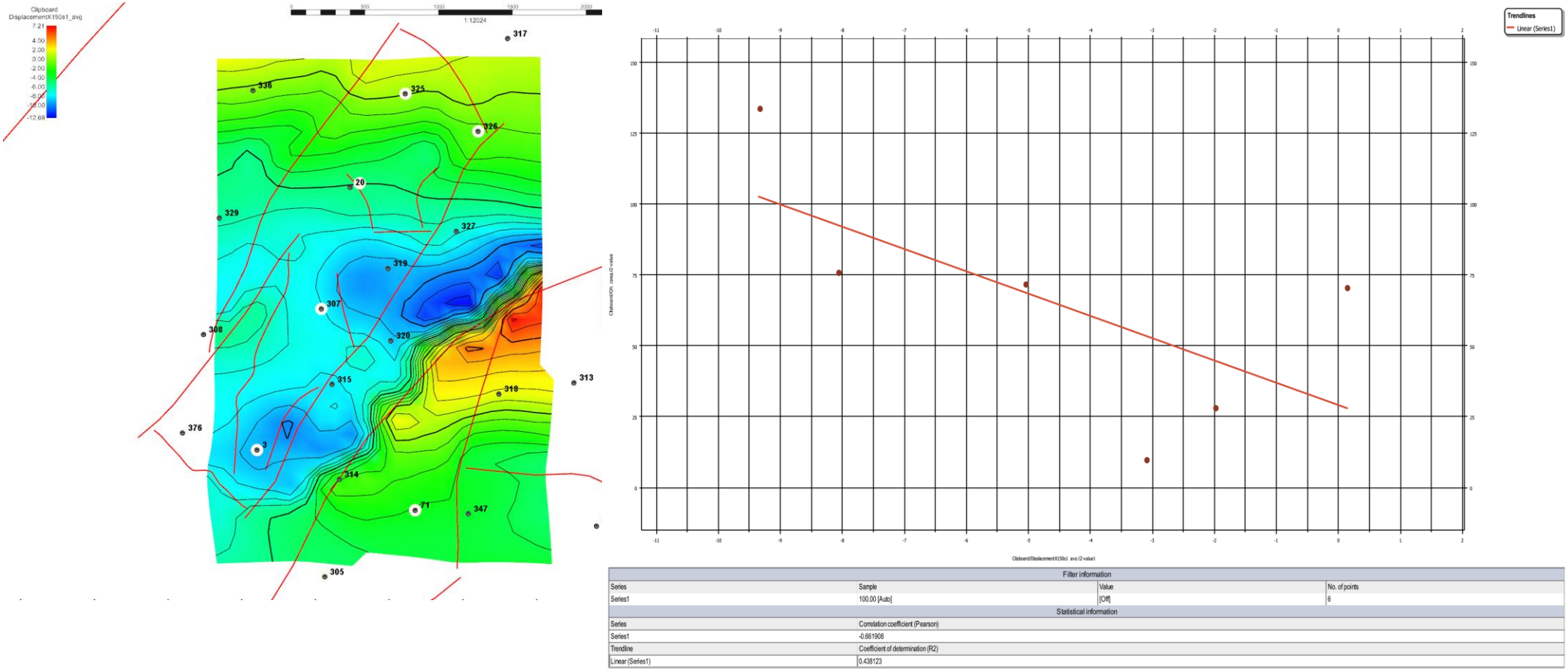


Рис. 8. Элементы геомеханической модели смещение по Y (Displacement Y) и график зависимости значения средних дебитов от величины смещение по Y (коэффициент корреляции K=0.91)



Filter information			
Series	Sample	Value	No. of points
Series1	100.00 [Auto]	[Off]	6

Statistical information	
Series	Correlation coefficient (Pearson)
Series1	-0.661908
Trendline	Coefficient of determination (R2)
Linear (Series1)	0.438123

Рис. 9. Элементы геомеханической модели смещение по X (Displacement X) и график зависимости значения средних дебитов от величины смещение по X (коэффициент корреляции К=-0.66)

традиционных методов. Вторичная – с помощью специальных геофизических методов, позволяющих прогнозировать плотность, апертуру и ориентировку систем трещин. Изучаемое месторождение обладает именно таким – сложным коллектором. Это обстоятельство подтверждается множеством независимых фактов. Во-первых, значительным различием в производительности эксплуатационных скважин, зачастую расположенных недалеко друг от друга. Во-вторых, анизотропией фильтрационных параметров между скважинами. В-третьих, статистической зависимостью между дебитами скважин и структурными параметрами геологической среды. Выявленная взаимосвязь между геодинамическими параметрами и характером работы скважин позволяет предположить, что для данного месторождения вторичная (трещинная) пористость и проницаемость является весьма значимой, а значит недоучет данного параметрам может привести к серьезным ошибкам при разработке залежи. Таким образом, эффективные фильтрационно-ёмкостные свойства коллектора данного месторождения представляют собой «сумму» первичной и вторичной пористости и проницаемости.

Для расчёта вторичной пористости и проницаемости необходимо создать «аналитическую дискретную модель трещиноватости горного массива». Данный этап моделирования выполняется с помощью программного обеспечения (Create Fracture Model), который позволяет использовать тренды (зависимости), полученные в результате геомеханического моделирования. Отбор этих трендов осуществляется с помощью их сопоставления с характером работы скважин (Рис. 10). Отбираются лишь те параметры, которые значимо влияют на их работу. Для восточной части рассматриваемого месторождения эти тренды описаны выше.

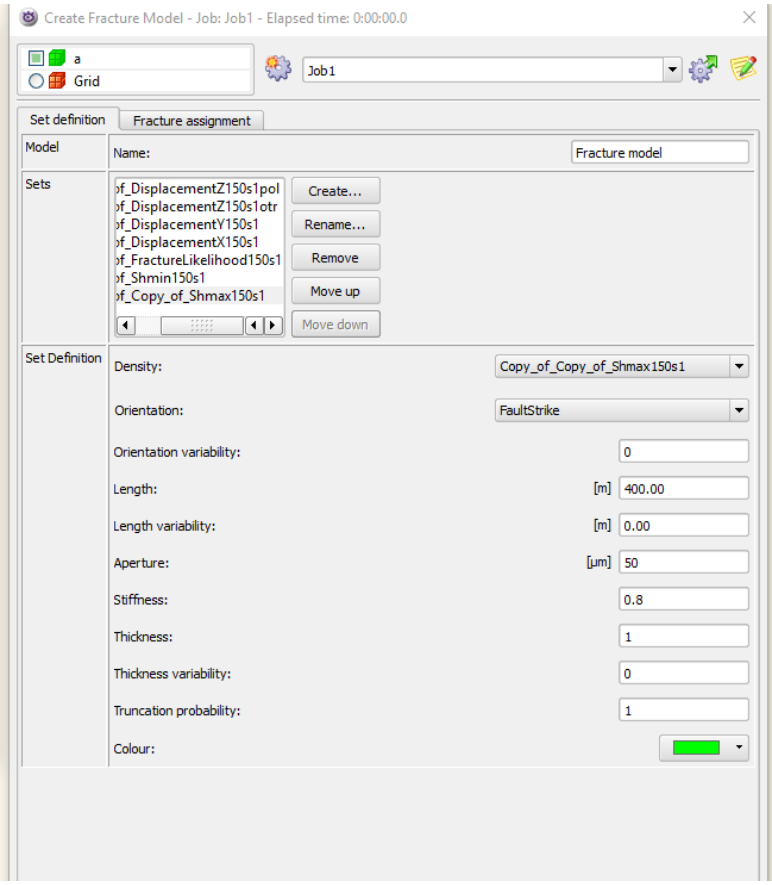


Рис.10. Параметры семи геодинамических трендов, использованных для расчета «дискретной модели тркщиноватости.

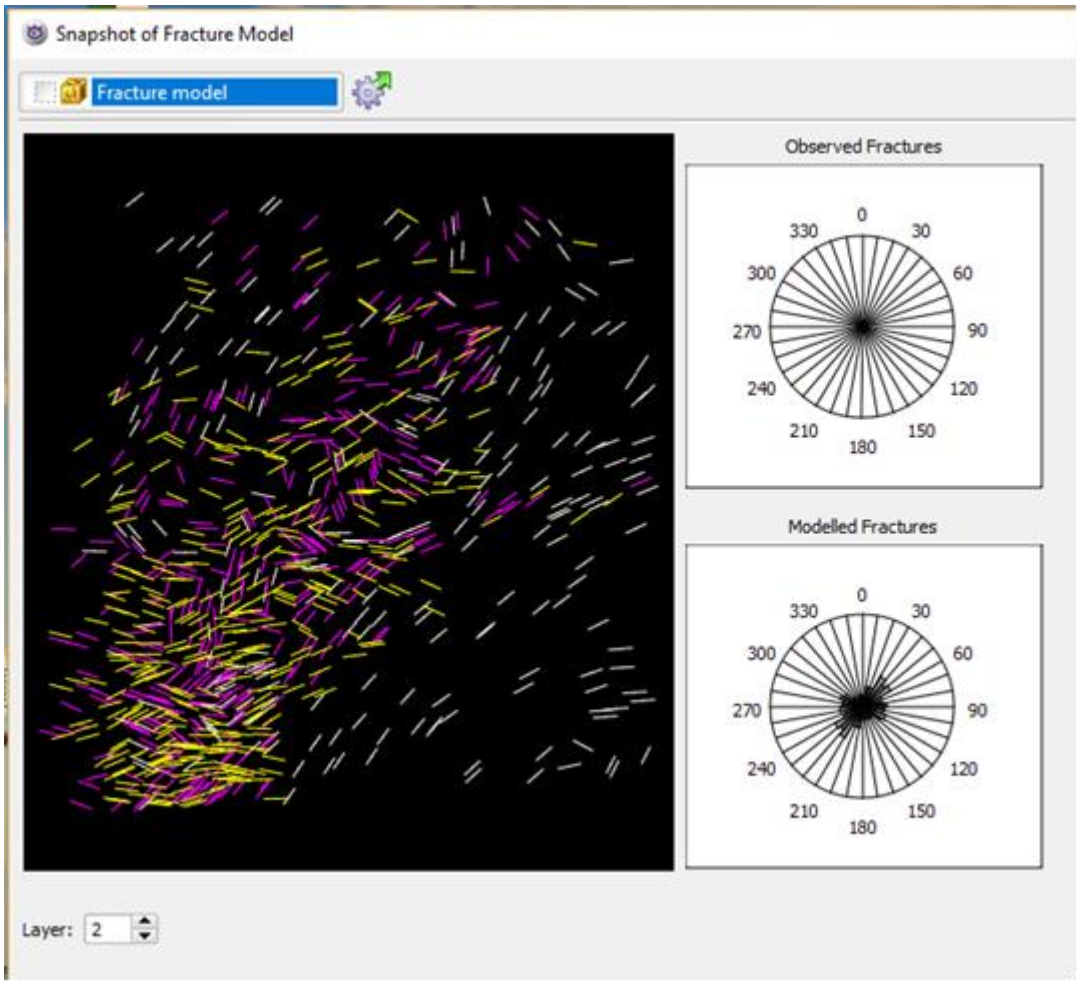


Рис.11. Дискретная модель трещиноватости, построенная по трем (наиболее информативным) геодинамическим трендам с учетом азимутов трещин. Цветом показаны системы трещин, построенные с помощью разных параметров

Дискретная модель трещиноватости, построенная по по трем (наиболее информативным) геодинамическим трендам с учетом азимутов трещин показана на рисунке 11.

Оценка вторичной пористости и проницаемости была выполнена с помощью программного модуля Dual-Porosity Modelling. Вероятностная величина плотности трещин рассчитывается с помощью аналитической дискретной модели трещиноватости. Для оценки степени открытости трещин используется величина горизонтальных смещений. И, наконец, для определения интегральной величины воздействия данных параметров их нормируют по степени значимости (коэффициенту Пирсона), а затем «складывают». Модуль Dual-Porosity Modelling позволяет рассчитывать трещинную проницаемость в разных форматах. В данной работе были рассчитаны параметры Kh maximum, Kh minimum и Kh max direction, которые могут использоваться в симуляторе Eclipse. На рисунке 12 представлены расчеты Perm Kh max и график зависимости между средними дебитами нефти и трещинной проницаемостью. Виден четкий тренд увеличения максимальных дебитов скважин с возрастанием вторичной проницаемости. Коэффициент корреляции между этими параметрами составляет 0.92.

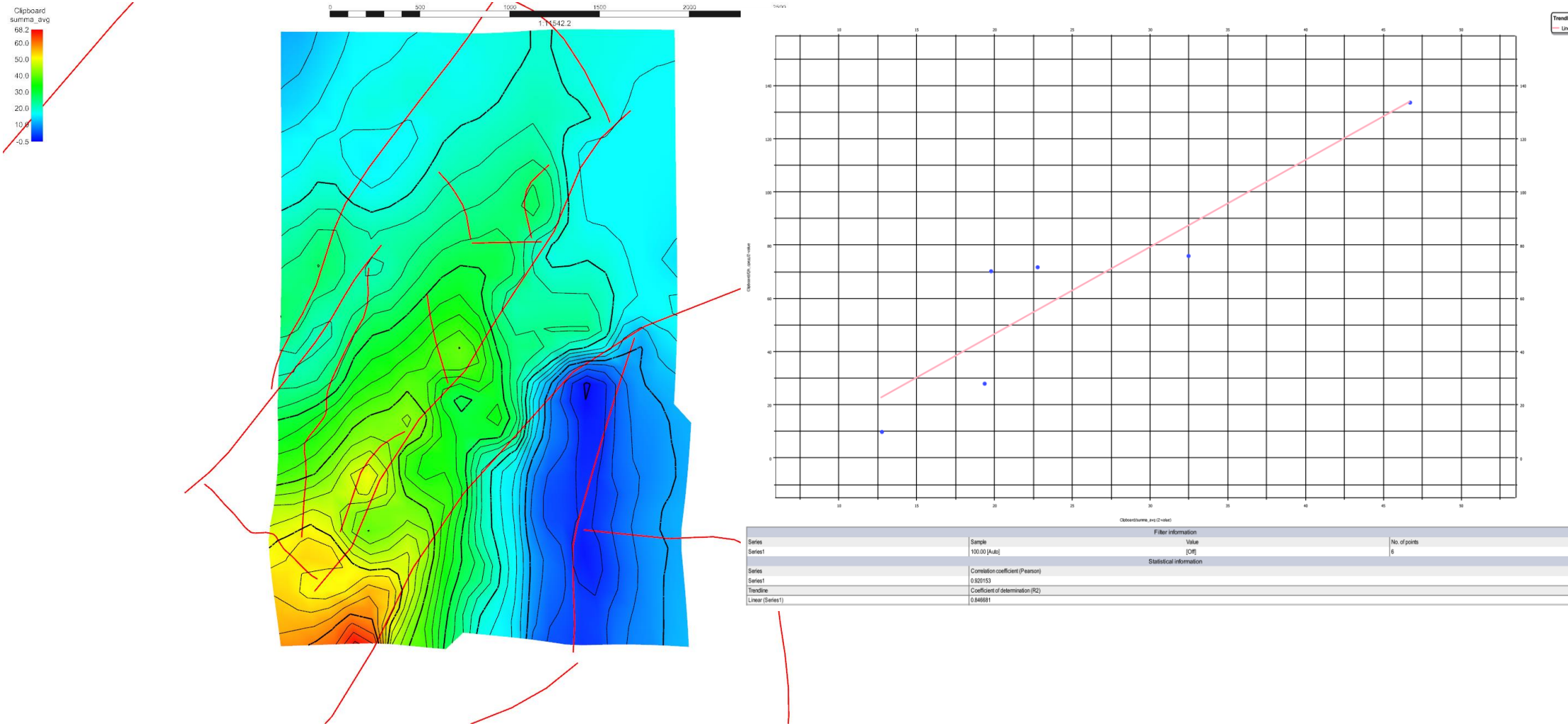


Рис.12. Схема вторичной проницаемости Perm Kh max построенная по трем параметрам и график зависимости между средними дебитами нефти и трещинной проницаемостью. Коэффициент корреляции между этими параметрами составляет 0.92.

ВЫЯВЛЕНИЕ АКТИВНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЗОН И КАНАЛОВ МИГРАЦИИ ФЛЮИДОВ.

Ключевым моментом для понимания характера миграции флюидов в пределах рассматриваемого нефтяного месторождения являются разрывные нарушения, которые, с одной стороны, являются гидрогеологическими барьерами, определяющими положение ВНК, с другой стороны, создают каналы миграции углеводородов. На разрезе, построенном через скважины 321-305-302-339 хорошо видно разрывные нарушения, по которым ВНК разорван и находится на разных гипсометрических уровнях (Рис.13-14). Но даже в тех случаях, когда ВНК не нарушен, смешение пластов-коллекторов разрывными нарушениями может сильно повлиять на величину проницаемости. Исследование межскважинного пространства на участке рассматриваемого нефтяного месторождения Иркутской области закачкой меченых жидкостей выполненное специализированной компанией в определенной степени прояснила ситуацию. Было выполнено исследование участков нагнетательных скважин №№ 317, 329, 327, 319, 308, 376, 347, 305, 320, в результате которого обозначились основные направления миграции флюидов и величина проницаемости жидкости по выявленным каналам. Однако не всегда трассирование фильтрационных потоков было логично объяснить. Необходимо было привлечь дополнительную геолого-геофизическую информацию. Такими данными стали результаты расчетов специальных прогностических сейсмических атрибутов, полученный из срезов куба Stochastic Enchanced CC, выделенных на основе прецизионной оценки когерентности. Эти срезы позволили в значительной степени по-новому взглянуть на тектоническую структуру.

Помимо этого, важной особенностью исследуемой территории является высокая степень унаследованности форм рельефа дневной поверхности от разрывных нарушений, выявленных благодаря атрибутам сейсмического поля. Несмотря на то, что анализируемые срезы находятся в основании палеозоя, на глубине более 2000 метров разрывные нарушения, установленные в продуктивном горизонте, отлично «читаются» в рельефе. На представленной карте цифровой модели рельефа (ЦМР) совмещенной со срезом сейсмического атрибута прекрасно видно, что практически все особенности сейсмического поля находят свое отражение в ландшафте современного рельефа (Рис. 15). Особенно это касается западной части исследуемой территории, где преобладают северо-восточные ориентировки разрывных нарушений. Структурный каркас восточной оконечности месторождения построен более сложно. Помимо северо-восточных ориентировок, здесь отчетливо просматриваются субмеридиональные направления. Судя по рельефу, эти направления станут преобладающими еще восточнее, за пределами лицензионной площади месторождения. Таким образом, рельеф дневной поверхности может использоваться как репер структурного каркаса усть-кутского горизонта.

Схема сейсмических атрибутов, полученный из срезов куба Stochastic Enchanced CC содержит в себе информацию не только о разрывных нарушениях, но и о активных геодинамических зонах или трещинах. Для того, чтобы извлечь данную информацию была использована программа LESSA, благодаря которой были выделены наиболее значимые каналы миграции (LESSA - Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis - это программа автоматического поиска линейных элементов и анализа их ориентации на любых изображениях. Данная программа включена в качестве модуля в комплекс обработки дистанционных изображений ERDAS). Мы использовали возможности программы LESSA для обработки цифровых моделей рельефа. Программа, анализируя любую поверхность выделяет осевые части «поднятий» и «прогибов», а затем предлагает ряд статистических параметров, таких как: розы - диаграммы, плотности линейных элементов, протяженные линеаменты, вектора, линии вытянутости, сходство соседних роз-диаграмм и др. (http://www.lineament.ru). Нами с помощью программы LESSA была обработана поверхность сейсмического атрибута Stochastic Enchanced CC (Рис. 16). Выделены линейные элементы, интерпретируемые как каналы миграции флюидов.Помимо выделения трещин, программа рассчитывает статистические параметры, связанные с распределением выделенных объектов: плотность, розы-простираний, линии

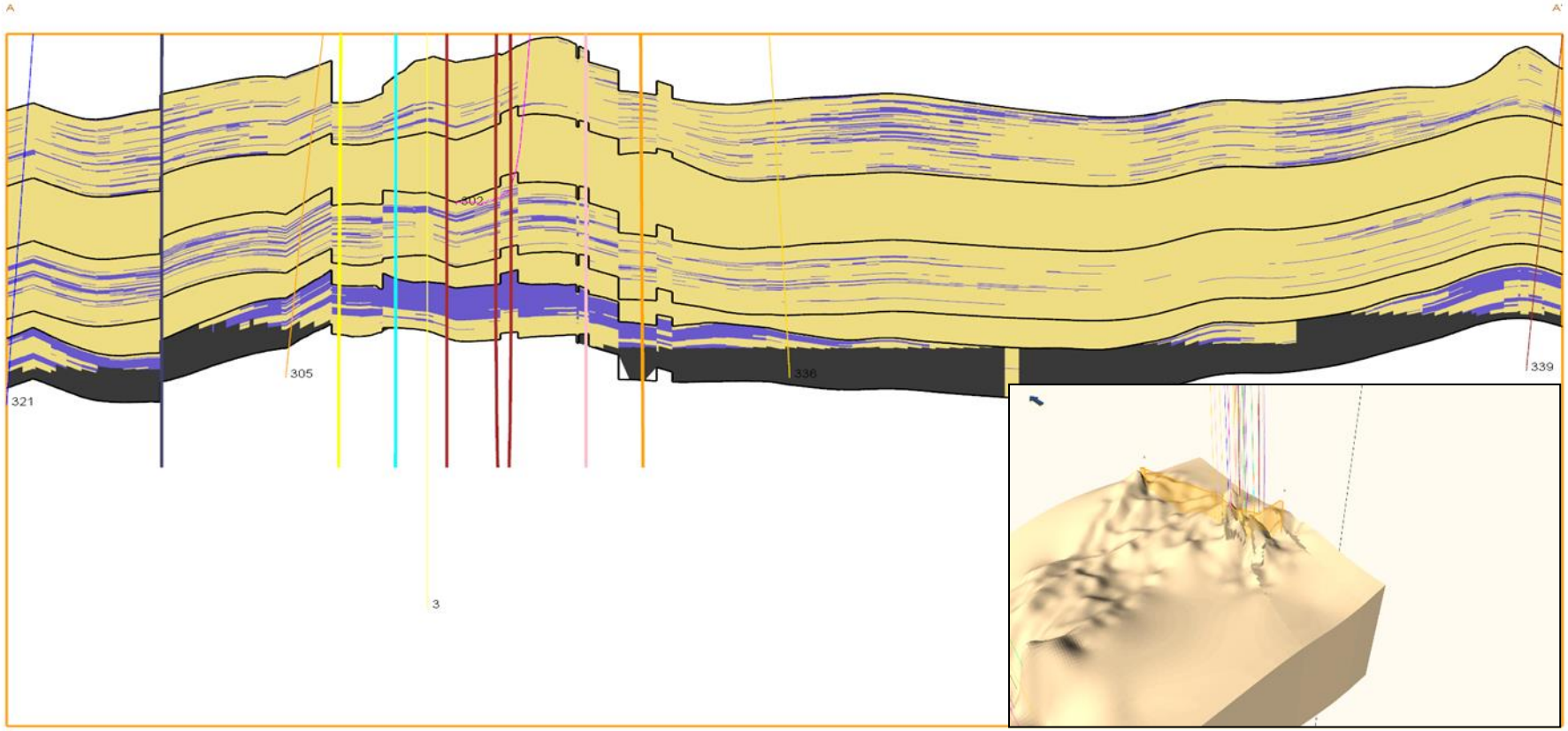


Рис. 13. Геологический разрез усть-кутского горизонта (V2) межу скважинами 321-339. Фиолетовым цветом показаны коллектора, черным цветом – область ниже ВНК.

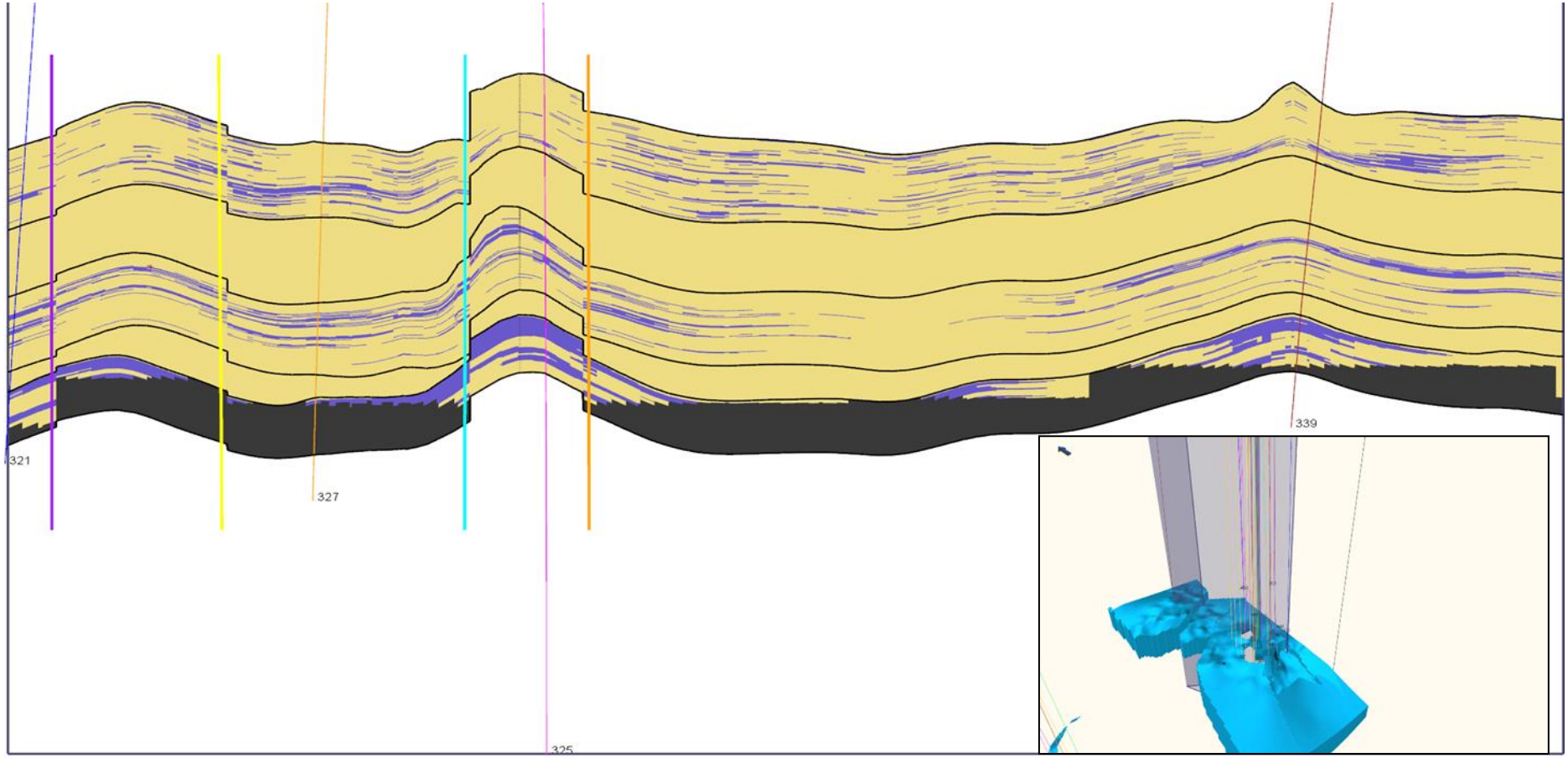


Рис. 14. Геологический разрез усть-кутского горизонта (V2) межу скважинами 321-327-325-339. Фиолетовым цветом показаны коллектора, черным цветом – область ниже ВНК.

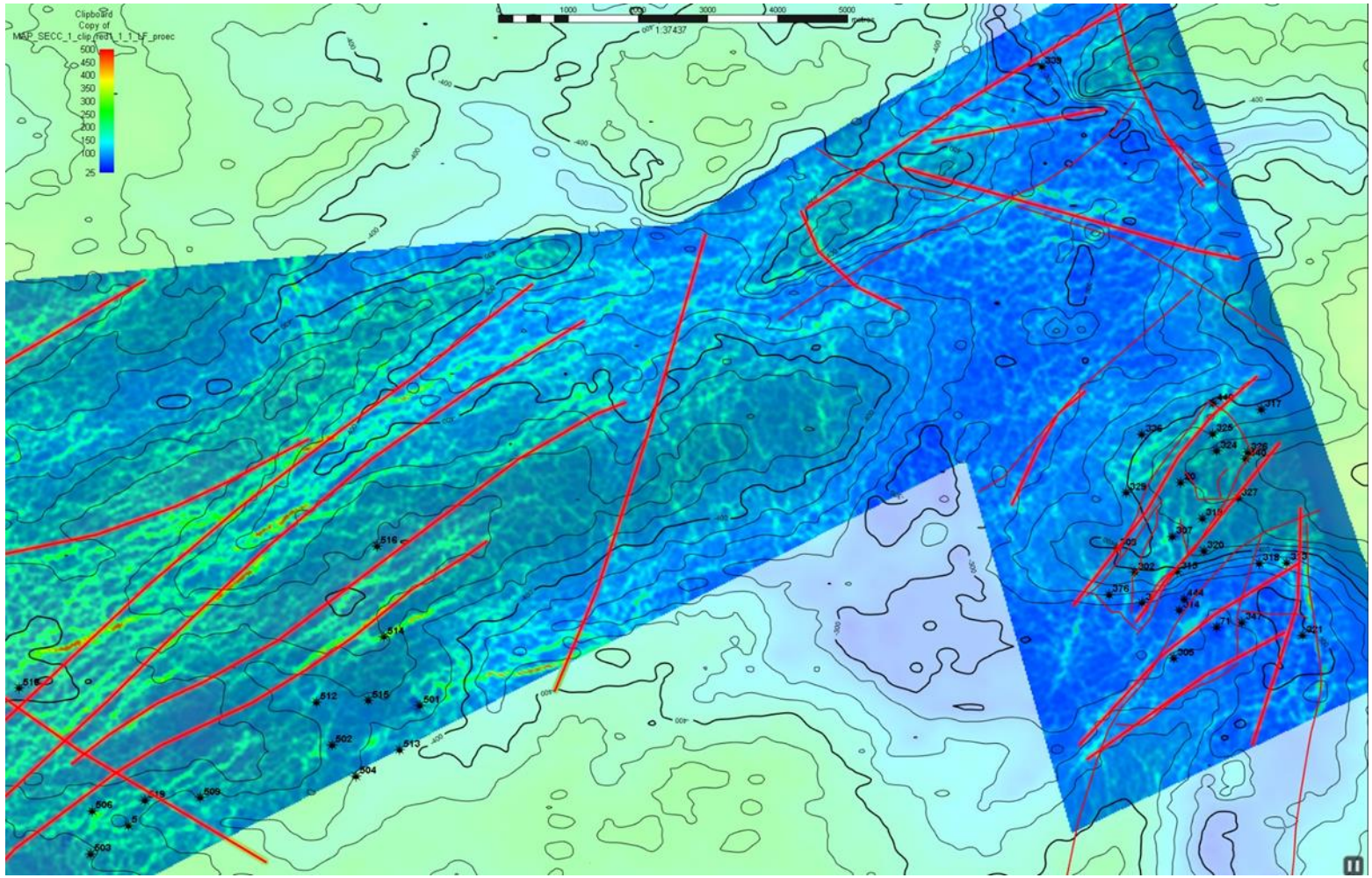


Рис. 15. Сейсмический атрибут Map_SECC_1clip с выявленными крупными разрывными нарушениями и наложенная на них карта рельефа дневной поверхности

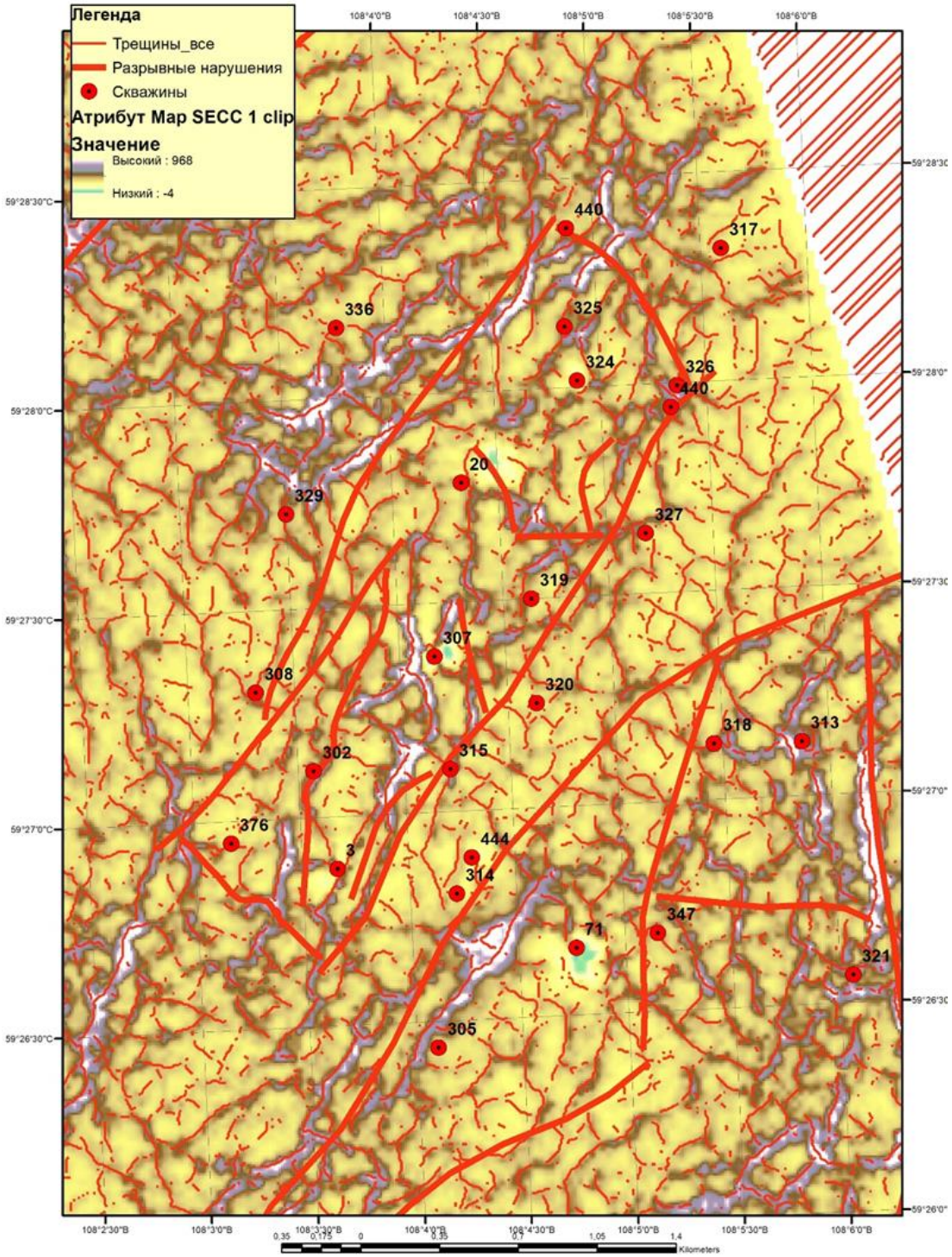


Рис. 16. Сейсмический атрибут Map_SECC_1clip с выделенными на нем с помощью программы LESSA крупными зонами трещиноватости (тонкие красные линии). Толстые красные линии - разрывные нарушения.

вытянутости, границы по розам и др., которые были использованы для выявления каналов миграции флюидов (Рис. 19).

Полученные с помощью данного инструмента данные (Рис.17.) позволили оценить влияние тектонической нарушенности (плотность трещин) на характер производительности эксплуатационных скважин. График зависимости значений средних дебитов эксплуатационных скважин от плотности трещин показывает отрицательную корреляцию К=-0,64. Это достаточно неожиданный результат, свидетельствует о том, что скважины работают более эффективно, когда пласт наименее нарушен.

В результате анализ вклада в обводнение скважин были отобраны четыре скважины для которых зарегистрированы самые высокие значения проницаемости по объекту более 100 мкм^2. Во всех случаях фильтрационные потоки проходили по одним и тем же зонам фильтрации.

Так, например, по результатам трассерных исследований отмечается значительное влияние на обводнение скв. 324 добывающего окружения нагнетательных скважин №№ 305, 376, 329, 317, 327, 319. На рисунке 18 показаны наиболее вероятные пути миграции трассеров. Отметим, что распределение фильтрационных потоков совпадает с простиранием тектонических разломов, но не следует по ним. Значения проницаемости между скважинами 324-305 равно 298 мкм^2, 324-376 равно 205 мкм^2, 324-329 равно 90 мкм^2, 324-317 равно 10 мкм^2, 324-327 равно 6 мкм^2, 324-319 равно 22 мкм^2. Такое распределение значений проницаемости свидетельствует о тесной связи данных каналов с геомеханическими параметрами и вторичной проницаемостью (см. рисунок 3.2.2.12.).

Обводнение скважины 20 связано с работой нагнетательных скважин 305 (проницаемость между ними – 617 мкм^2), 329 (проницаемость - 79 мкм^2), 308 (проницаемость - 168 мкм^2), 319 (проницаемость - 97 мкм^2) (Рис. 20.). Очевидно, что и в этом случае максимальные значения проницаемости расположены строго вдоль максимального геомеханического воздействия.

Скважина №326 наиболее сильно обводняется скважинами 305 (проницаемость - 451 мкм^2), 329 (проницаемость - 143 мкм^2), 327(проницаемость - 14 мкм^2), 317 (проницаемость - 9 мкм^2). Снова мы видим четкую приуроченность к вторичной проницаемости (Рис. 21).

По результатам трассерных исследований отмечается значительное влияние на обводнение скв. 307 нагнетательных скважин №№ 305, 376, 329, 317, 319, 308. На рисунке 22 показаны наиболее вероятные пути миграции трассеров. Значения проницаемости между скважинами 307-305 равно 155 мкм^2, 307-376 равно 130 мкм^2, 307-329 равно 59 мкм^2, 307-317 равно 147 мкм^2, 307-308 равно 41 мкм^2, 307-319 равно 18 мкм^2. И снова мы имеем максимальные значения проницаемости, приуроченные к наиболее подвижным областям рассматриваемой территории (см. рисунок 24.).

Сопоставление каналов фильтрации флюидов параметрами раздробленности геологической среды, полученные с помощью программы LESSA показывают их приуроченность к линиям вытянутости (см рис. 23) В центральной части (район скважин 376, 3, 307, 20) вытянутые в субмеридиональном, а южнее скважины 376 в северо- западном направлении. Кроме этого, в районе скважины 20 мы видим, что каналы фильтрации разворачиваются согласно с линиями вытянутости и приобретают субширотную ориентировку.

Итак, выполнив анализ геодинамического состояния и фильтрационных свойств коллектора исследуемого нефтяного месторождения можно сделать ряд выводов:

Во-первых, удалось существенно дополнить наши представления о тектоническом строении и современном поле напряжений исследуемой территории. В результате чего была построена обновленная 3D геомеханическая модель, более адекватно отражающая работу скважин.

Во-вторых, на основе обновленной геомеханической модели рассчитаны значения вторичной проницаемости, которые подтверждаются фильтрационными параметрами, полученными в результате трассирования потоков изучаемого объекта.

В-третьих, благодаря новому сейсмическому атрибуту Map_SECC_1clip удалось наметить каналы фильтрации, и увязать их проницаемость с обновленной геомеханической моделью.

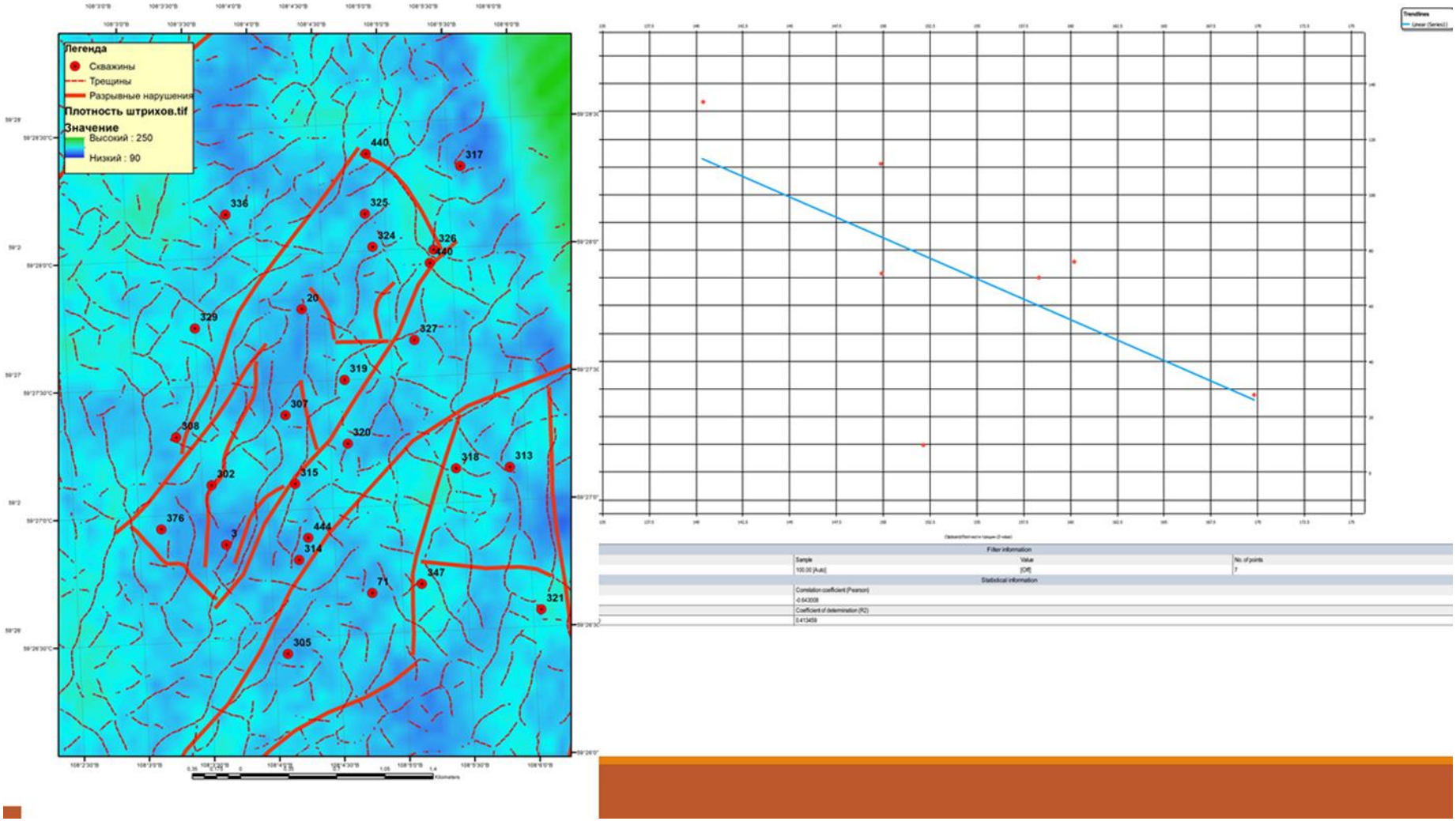
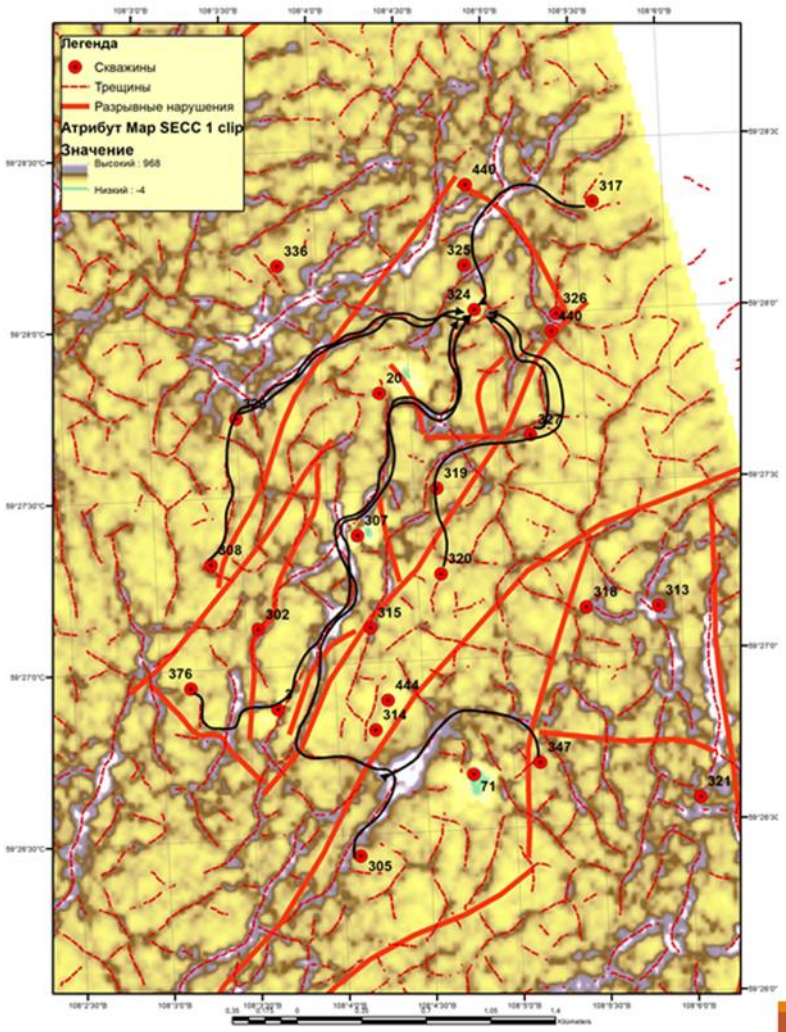


Рис.17. Плотности трещин, выделенных по сейсмическим атрибутам Map_SECC_1clip и график зависимости значения средних дебитов от плотности трещин (коэффициент корреляции К=-0,64).



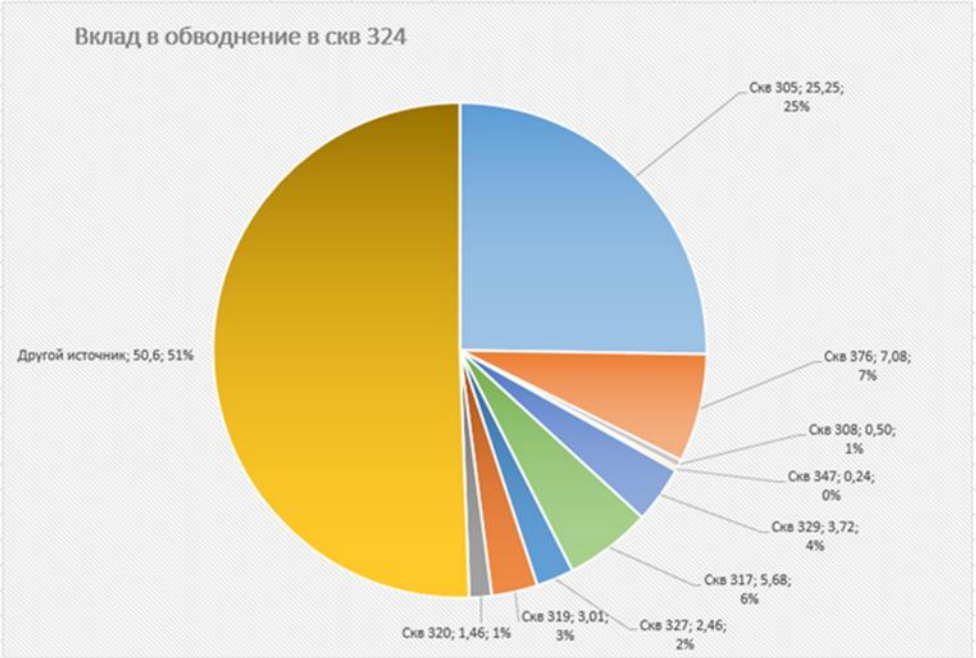


Рис.18. Каналы миграции флюидов и вклад в обводнение скважины № 324

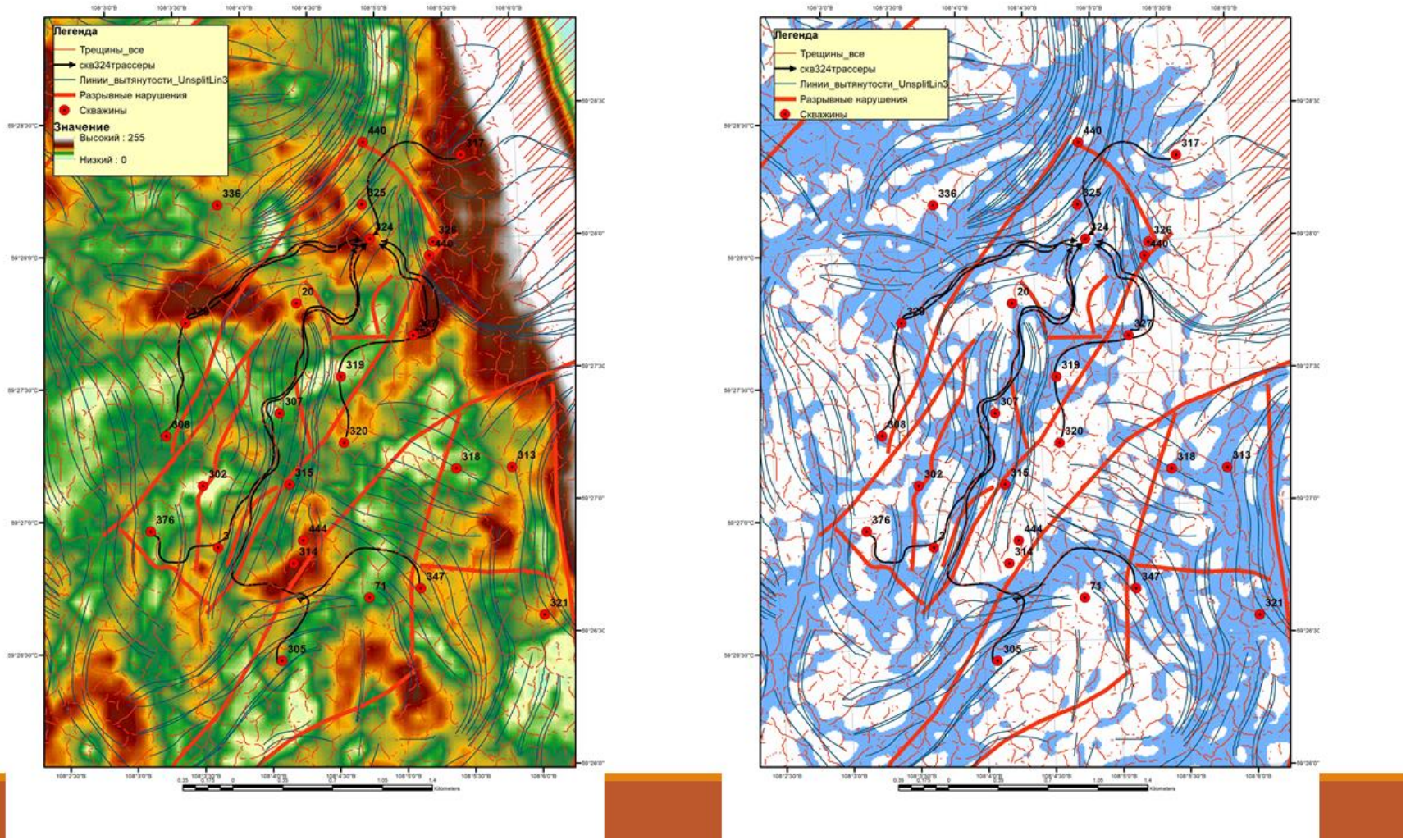
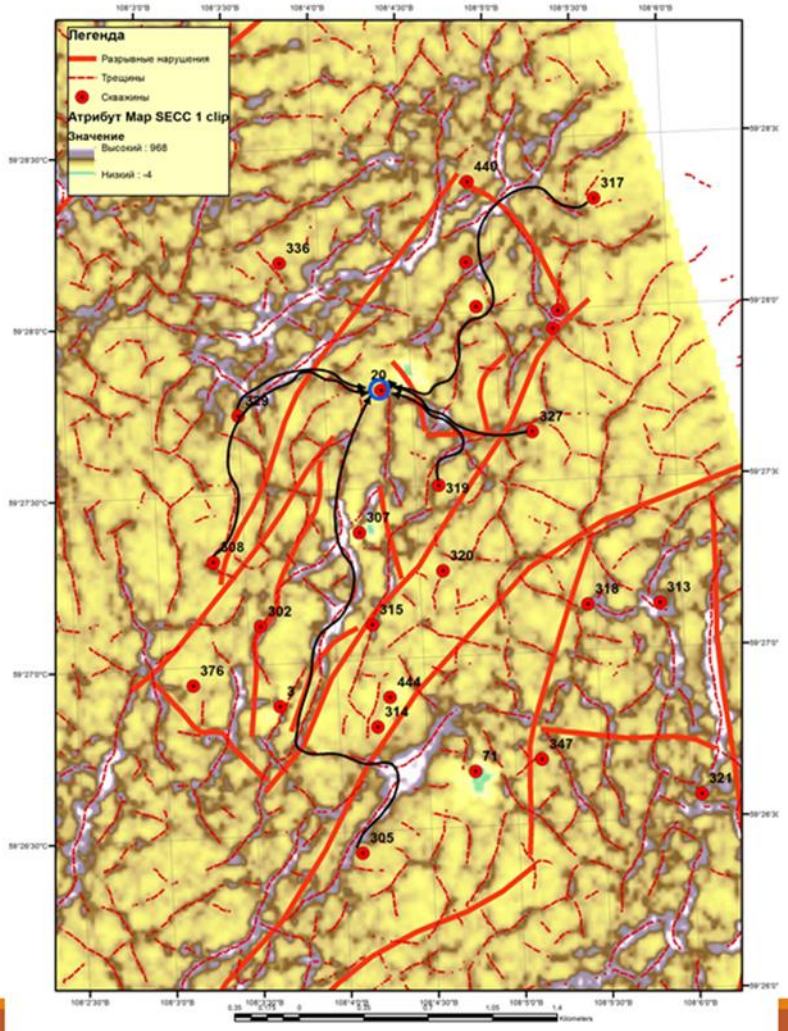


Рис. 19. Методика выявления каналов миграции флюидов с помощью линий вытянутости, границы построены по розам простираний и сейсмическому атрибуту Map_SECC_1clip.



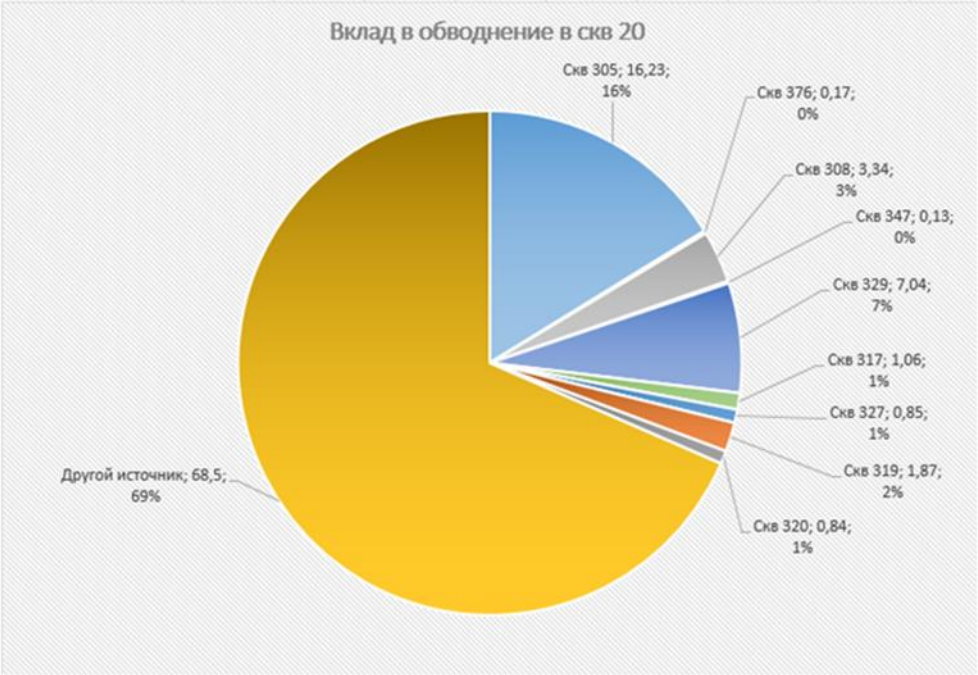
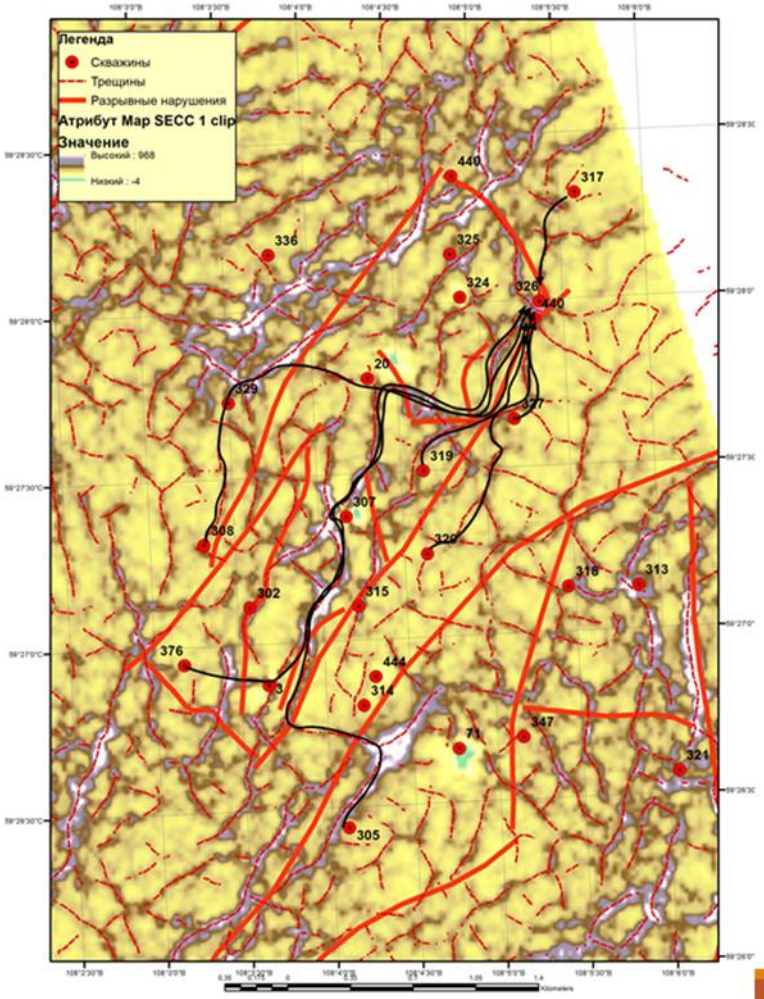


Рис.20. Каналы миграции флюидов и вклад в обводнение скважины № 20.



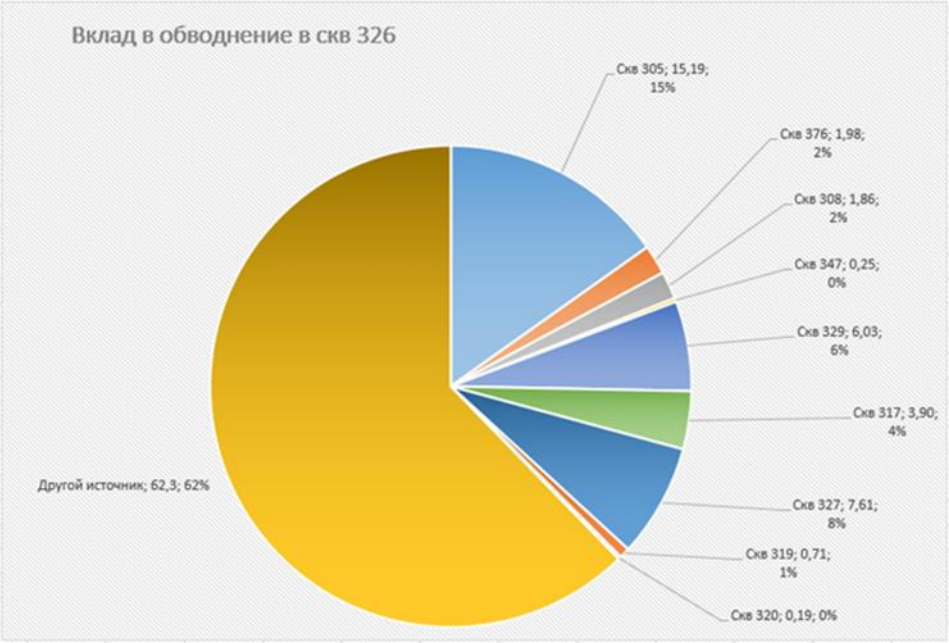
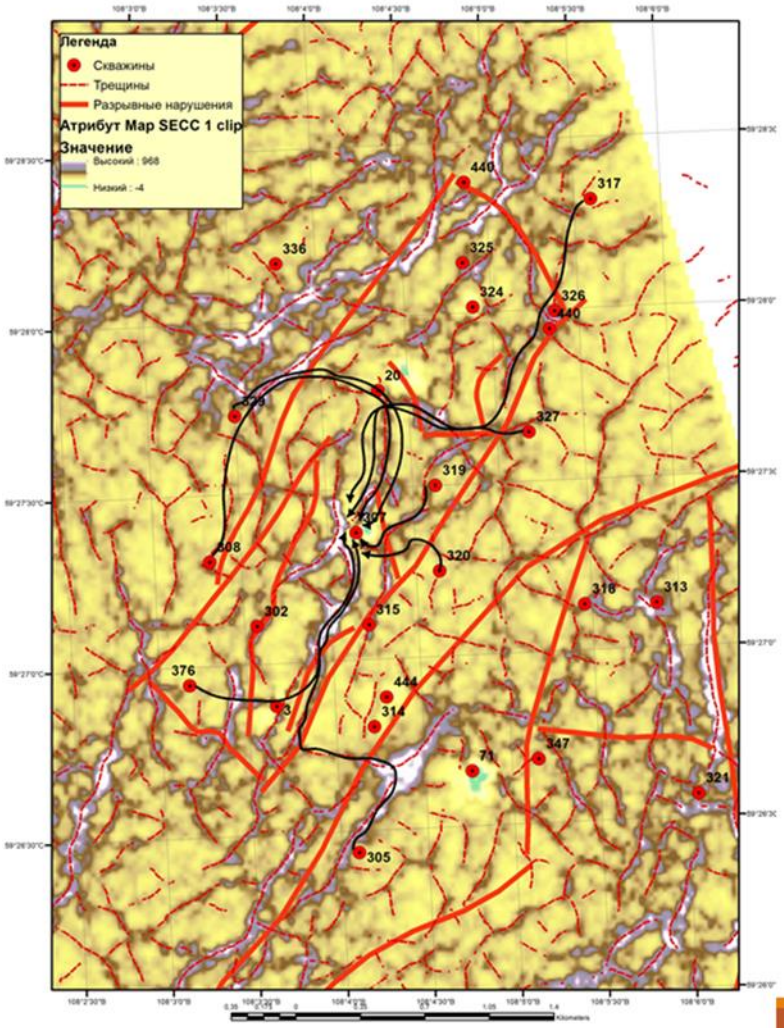


Рис.21. Каналы миграции флюидов и вклад в обводнение скважины № 326.



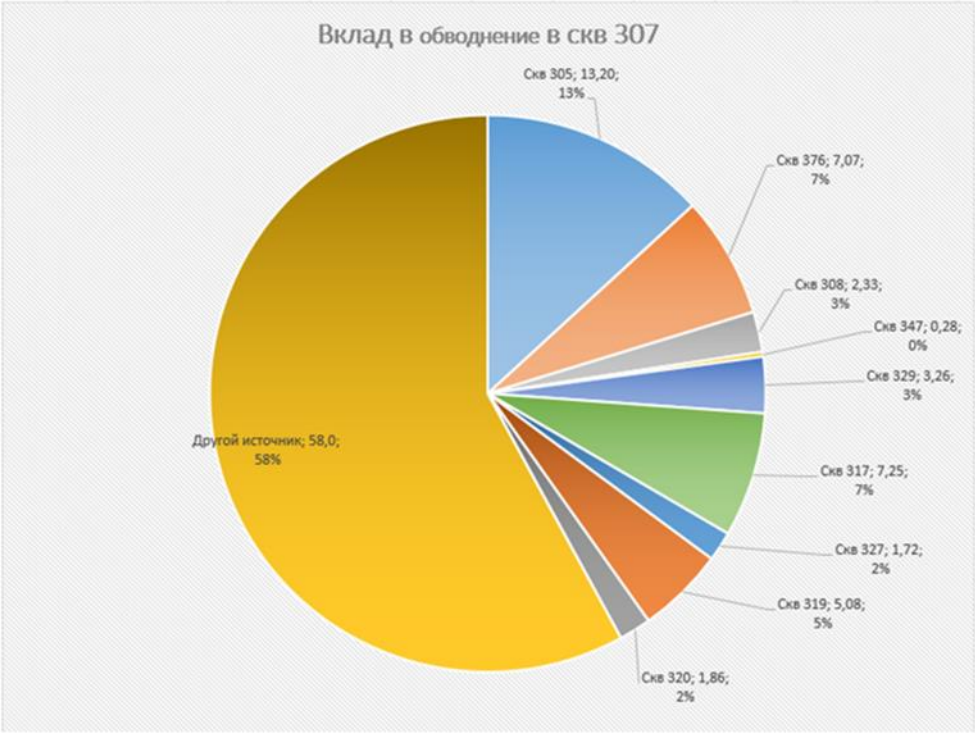


Рис.22. Каналы миграции флюидов и вклад в обводнение скважины № 307.

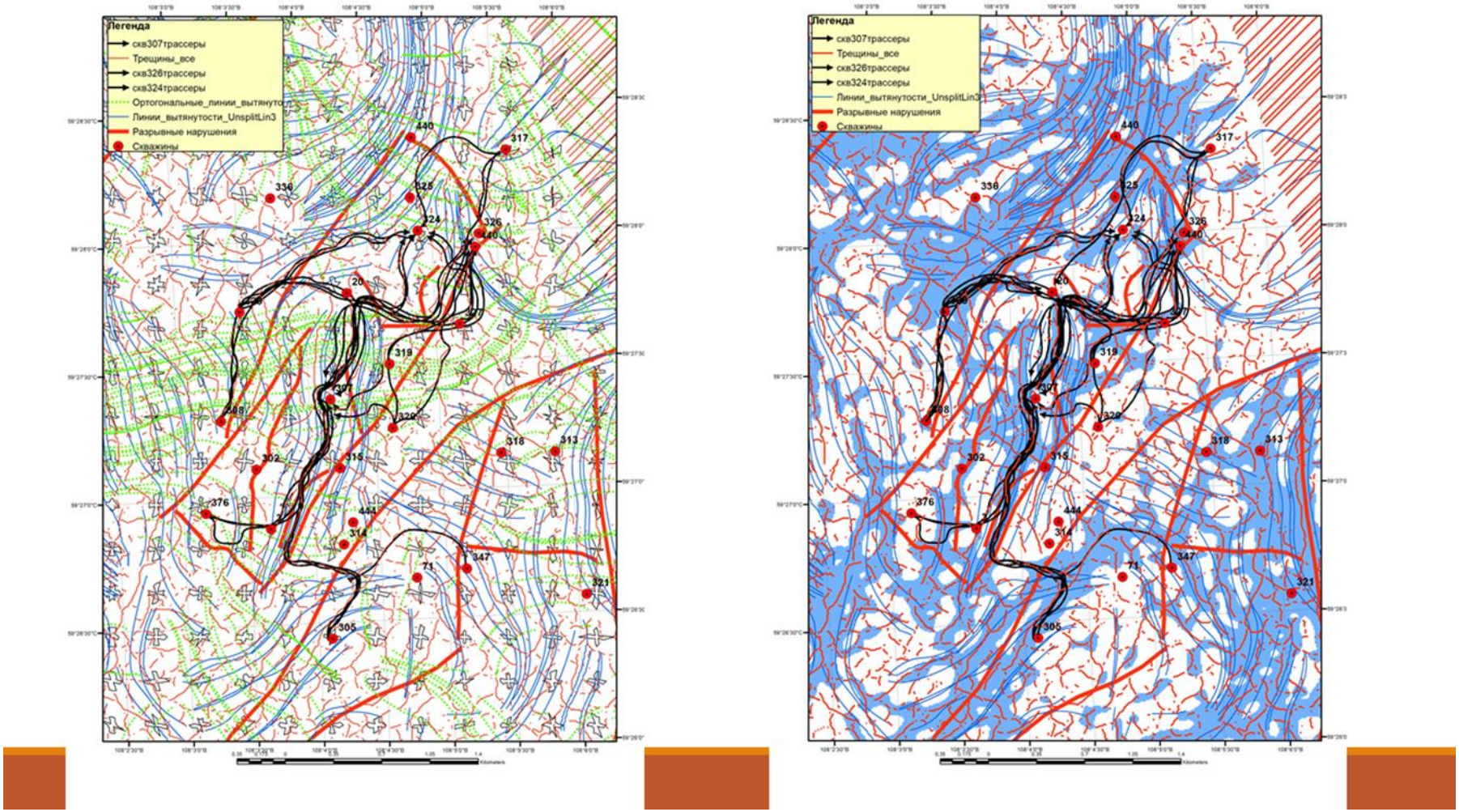


Рис. 23. Каналы миграции флюидов к скважинам №324, 20, 326, 307 на схемах линий вытянутости и геодинамически активных зон трещиноватости.

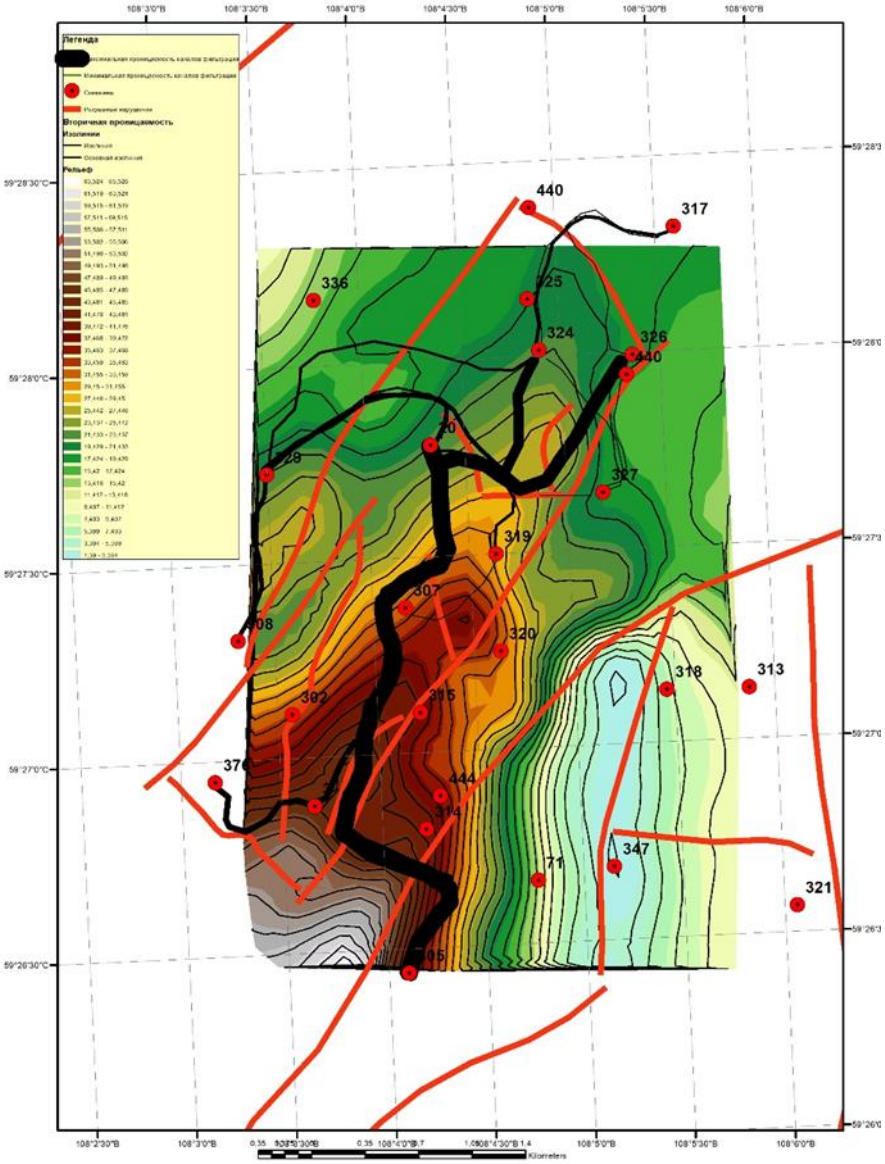


Рис.24. Каналы миграции флюидов к скважинам №324, 20, 326, 307 и схема вторичной проницаемости (толщина каналов фильтрации пропорциональна величине проницаемости).

Список литературы

1. Зайцев В. А. Использование геомеханической модели нефтегазового месторождения для оценки вторичной проницаемости // Тезисы научно-практической конференции "Проблемы разработки нефтяных месторождений в условиях сильных пластовых и флюидальных неоднородностей. Тюмень, 2015.
2. Зайцев В. А., Керимов В. Ю., Рябухина С. Г., Бондарев А. В. Современная геодинамика и ее влияние на вторичные фильтрационные свойства коллекторов северо-восточной части Сахалинского шельфа //Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. № 5. М.: МГУ, 2017. С.16–23.
3. Керимов В. Ю., Мустаев Р. Н., Дмитриевский С. С., Зайцев В. А. Оценка вторичных фильтрационных параметров низкопроницаемых сланцевых толщ майкопской серии центрального и восточного Предкавказья по результатам геомеханического моделирования // Нефтяное хозяйство. № 9. М.,2016. С.18–21.

ХРОНИКА СОБЫТИЙ

40 ЛЕТ ЧАШНИКОВСКОЙ ПРАКТИКЕ.

Панина Л.В.[1], Зайцев В.А.[1]
[1]*Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

На протяжении 40 лет сотрудники и аспиранты кафедра динамической геологии проводят учебную геолого-геоморфологическую практику со студентами первого курса факультета почвоведения на базе ОУПЭЦ (Опытный учебно-производственный экологический центр) Чашниково МГУ им. М.В. Ломоносова. Центр расположен в 7 км к север-северо-востоку от Зеленограда (Московская область, Солнечногорский район) в долине реки Клязьма между посёлком Радомля и наукоградом Менделеево. Практика является логическим завершением курса «Общая геология с основами геоморфологии», который читают будущим почвоведам доценты кафедры А.Н.Стафеев и Н.В. Макарова в первом семестре. У истоков практики стояли преподаватели и научные сотрудники нашей кафедры А.М. Сычёва-Михайлова, А.В. Вихерт, А.П. Соловьева. Научными руководителями практики в разные годы были Н.П. Костенко, А.М. Сычёва-Михайлова, Н.В. Макарова. В последние годы научным руководителем практики является доцент Л.В. Панина.

В течение ряда лет преподавателями практики были сотрудники кафедры А.Г. Малюжинец, Т.М. Гептнер, Ю.Г. Моргунов, А.А. Наймарк, Э.З. Кучуков, Арк.В. Тевелев, А.И. Полетаев, Н.С. Фролова, Г.В. Брянцева, Д.А. Симонов, Л.В. Панина, Л.А. Сим, О.Н. Сироткина, Б.В. Георгиевский, А.А. Зарщиков, В.С. Захаров, А.А. Клочко, Н.В. Лубнина, В.А. Зайцев и другие. Техническое сопровождение практики осуществляли Г.Д. Булыгина, А.А. Синяева, Е.И. Чиж. В разные годы в проведении практики участвовали аспиранты кафедры Петр Рожин, Анастасия Белова, Елена Ившина, Тарас Кара, Павел Карасев, Наталья Клавдиева, Сергей Козлов, Иван Лободенко, Елена Пивченкова, Николай Соколов, Кирилл Чекмарев, Екатерина Шереметьева, Мария Мышенкова, Алексей Агибалов, Алексей Сенцов, Екатерина Мануилова, а также магистранты кафедры Галина Баженова, Ольга Гайдалёнок, Анастасия Корнейко, Мария Ященко, Ольга Мещерякова.

В последнее время в практику внедряются новые технологии и методики сбора и обработки собранных данных. Среди них экспресс метод гранулометрического анализа, применение ГИС-технологий при составлении карт физико-геологических процессов, проведение водородной и радоновой съемок, 3D компьютерное моделирование и др. Практика обладает новыми снимками территории, сделанными с помощью квадрокоптера, которые позволяют рассмотреть объекты практики под новым углом зрения. Для студентов и преподавателей в 2017 г. создано новое интерактивное руководство «Чашниковская впадина

и ее обрамление (геология, геоморфология, структурные особенности и современные геологические процессы» (авторы Л.В. Панина, В.А. Зайцев, А.И. Полетаев, О.Н. Сироткина, Д.А. Симонов). Пособие помещено на сайте лаборатории «Исследования геокатастроф» geodisaster.ru.

Проведение практики показало ее необходимость и важность. В результате ее прохождения студенты овладевают знаниями о геолого-геоморфологическом строении района, физико-геологических процессах, влияющих на формирование почв, приобретают навыки научно-исследовательской работы в полевых и камеральных условиях, осваивают новые технологии и методики, необходимые для дальнейшего профильного обучения.

Конференция, посвященная 40-летию Чашниковской практики, состоялась 10-11 сентября 2018 г. на кафедре динамической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. 10 сентября было проведено пленарное заседание, в котором приняли участие сотрудники кафедры и представители других кафедр и организаций. С приветственным словом выступила начальник практик факультета почвоведения в Чашниково, доцент М.И. Кондрашкина и зав кафедрой динамической геологии, проф. Н.В. Короновский.

На конференции была освещены научные и педагогические аспекты изучения Восточно-Европейской платформы. С докладами, объединенными тематикой «Восточно-Европейская платформа: геология, неотектоника, геоморфология» выступили сотрудники кафедры динамической геологии МГУ имени М.В. Ломоносова Н.А. Божко, Н.В. Макарова, Л.В. Панина, В.А. Зайцев, А.И. Полетаев, Д.А. Симонов; аспиранты кафедры А.О. Агибалов, А.А. Сенцов, Е.А.Мануилова; сотрудник кафедры петрологии В.Л. Сывороткин; сотрудник института ИГЭ РАН М.А. Макеев; сотрудник Института физики Земли имени О.Ю. Шмидта Л.А. Сим.

Материалы конференции опубликованы в сборнике Труды всероссийской научной конференции «Восточно-Европейская платформа: геология, неотектоника, геоморфология» и помещены на сайте лаборатории «Исследования геокатастроф» geodisaster.ru.

11 сентября состоялась выездная сессия конференции в район практики, где участники и гости конференции на месте смогли ознакомиться с геолого-геоморфологическим строением долины реки Клязьмы, оценить методы и приемы проведения маршрутов (Фото 1-5).

Фото 1. В маршруте. На фото справа налево: Л.В. Панина, М.Ю. Промыслова, Н.В. Суханова, И. Латышева, Н.А. Солодкова. Фото В.А.Зайцева

Фото 2. Достоинства применения планшента в маршруте. На фото В.А. Зайцев (крайний слева), Д.А. Симонов, Т.В. Суханова. Фото И.В. Латышевой.

Фото 3. Точка наблюдения на первой надпойменной террасе р. Клязьмы. На фото В.А. Зайцев и Д.А. Симонов. Фото И.В. Латышевой.

Фото 4. Приятные моменты. На фото Т.В. Суханова и М.Ю. Промыслова. Фото И.В. Латышевой.

Фото 5. Обеденный перерыв. На фото участники выездной сессии на территорию Чашниковской практики.

18 октября 2018 г. в район окрестностей ОУПЭЦ "Чашниково" (Московская область, Солнечногорский район) была проведена выездная учеба для студентов 4 курса кафедры динамической геологии (бакалавриат). Цель курса ─ закрепление знаний и навыков, полученных при прохождении теоретических курсов "Геоморфология", "Четвертичная геология", "Неотектоника". В ходе занятий студенты ознакомились с геолого-геоморфологическим строением района Чашниковской впадины, методами изучения геологических разрезов, гранулометрическим экспресс- анализом четвертичных пород, неотектоникой, современными методиками привязки точек наблюдения и др. Занятия проводили доцент Л.В. Панина, в.н.с. В.А.Зайцев, зав.лаб. А.И. Полетаев (Фото 6-8).

Фото 6. Село Льялово. Знакомство с геолого-геоморфологическим строением. На фото А.И.Полетаев и Л.В.Панина с группой студентов кафедры динамической геологии. Фото В.А.Зайцева.

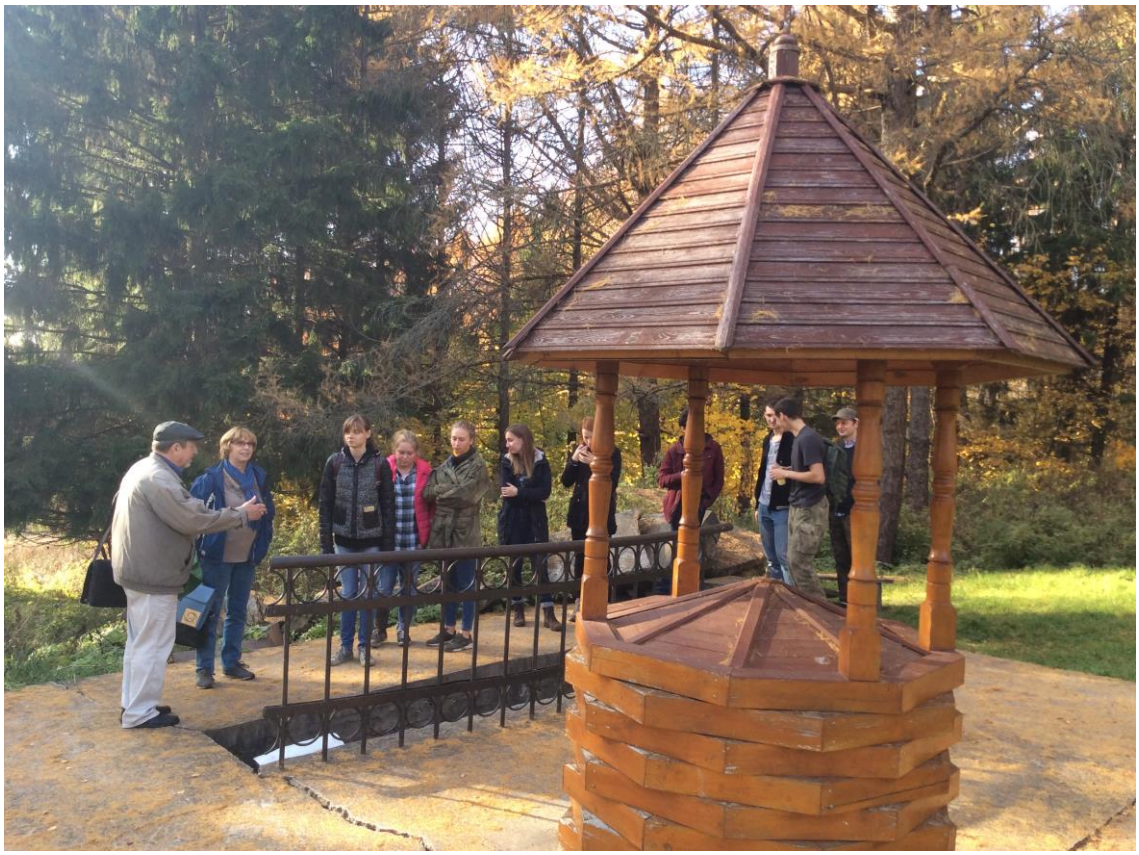


Фото 7. Источник у церкви Рождества Пресвятой Богородицы (Льялово). На фото А.И.Полетаев и Л.В.Панина с группой студентов кафедры динамической геологии. Фото В.А. Зайцева.

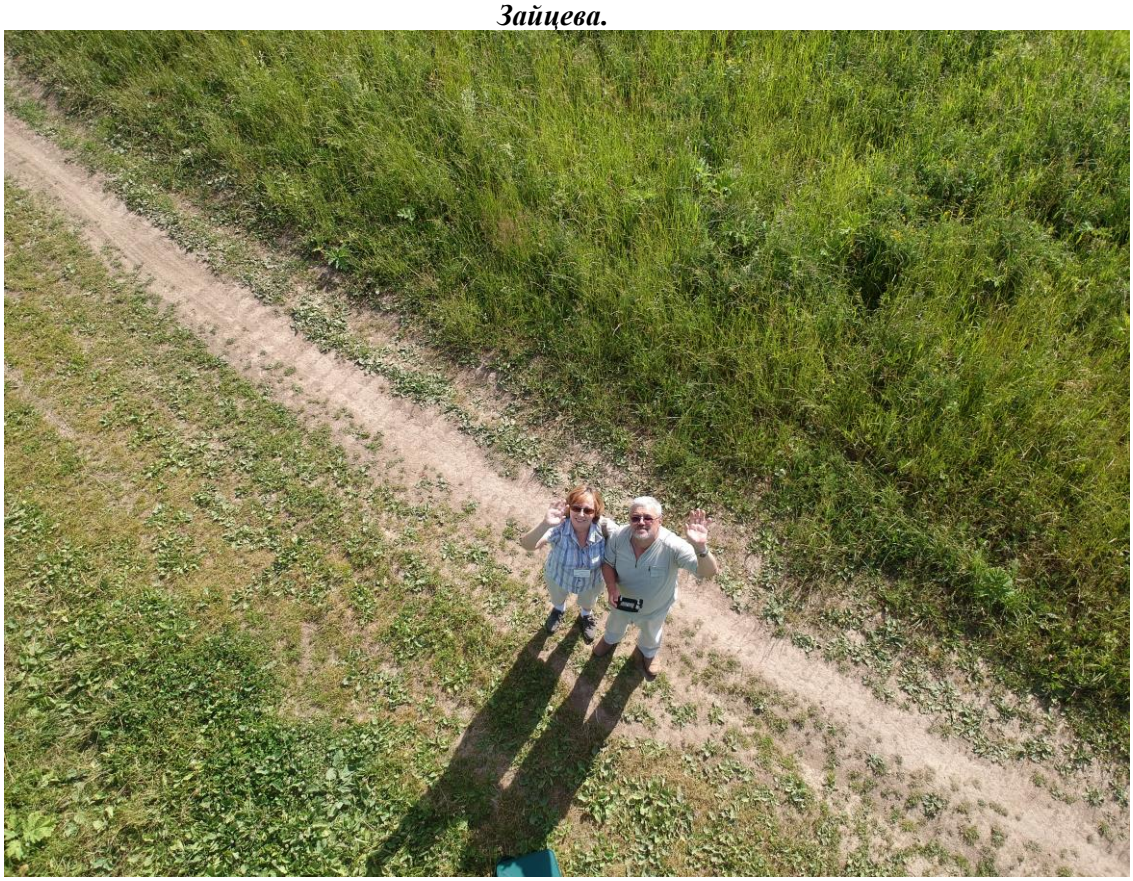


Фото 8. До будущей практики! На фото Л.В. Панина, В.А. Зайцев.

ЛИТЕРАТУРНАЯ СТРАНИЧКА КАФЕДРЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ

БЕЛОУСОВ В.В. (1907 – 1990)

Владимир Владимирович Белоусов – крупнейший тектонист XX века, член-корреспондент АН СССР.

Опубликовал более 300 научных работ, в том числе такие фундаментальные монографии, как «*Основные вопросы геотектоники*» (1954, 1962), «*Земная кора и верхняя мантия материков*» (1968) и другие, которые стали настольными книгами для нескольких поколений геологов. Владимир Владимирович создал свою – белоусовскую – школу геологов-тектонистов, среди блистательных имён которой, в первую очередь, необходимо назвать М.В. Гзовского, М.А. Гончарова, А.В. Вихерта, Н.Б. Лебедеву, А.М. Сычеву-Михайлову, В.И. Шевченко, В.Н. Шолпо, Н.С. Фролову.

Примечательно, что в архиве В.В. Белоусова остались не только великолепные очерки по истории геологии, но и стихи, которые были опубликованы его учениками в книгах «*Владимир Владимирович Белоусов*» (1999) и «*Труды и дни Владимира Владимировича Белоусова (1907 – 1990)*» (2007).

* * *

Тут начало, тут отчизна!
После многих-многих лет
Справил поминаний тризну
По друзьям, которых нет.
Те же сопки, те же пади
И полыни дух тугой;
Всё, как будто, так и надо,
Только я совсем другой.
Сам с собой веду беседу:
С тем, кто был, и с тем, кто есть,
Внук, что был, был раньше деда!
Кто кому пошлёт тут весть?!
Вперемежку наши грядки,
Каждый сеет, что дано…
Катит время без оглядки:
Раньше, после – всё одно.
Но когда-то, много позже,
Будет всем нам суд крутой,
И решат потомки строго,
Чей всход сочный, чей пустой.

Забайкалье, август 1981 г

.

* * *

Багряный лес, … шуршит трава,
Сереет небо… Время это
Зовёт народная молва
Грибным и бабьим летом.
Под елями – красавец лось.
Вдохнул туман, расставил ноги…
И что-то кончилось, и что-то началось.
А впереди дороги и дороги.
Спешу узнать, что за углом,
Какой народ, какая вера,
И пустят ли чужого в дом,
Но там, гляжу, лишь даль безмерна.
Конец проторенным следам;
Не потеряться б в чуждом крае!
Но, помолясь своим богам,
Свою тропу я проторяю.

Октябрь 1988 г.

* * *

Ставлю палатку у маленькой речки,
Дров наберу, разгорится костёр,
Суп приготовлю с тушенкой и гречкой,
Буду смотреть на заречный простор.
Ночь наступает… Залезу в палатку,
В спальный, добротный уютный мешок.
Летняя ночь быстротечна, так кратка!
Вот уже сойки звучит голосок.
Раннее утро, туман над лугами,
Воздух росою так чисто промыт.
Лес полон птичьим, задиристым гамом,
Дятел поблизости трелью стучит.
Рядом сосёнка. Совсем невысоко
Сойка гнездо аккуратно свила.
Страшен я ей, подбирается боком.
«*Я твой товарищ, лети, будь смела!*»

1 сентября 1990 г.

ЗИЛИНГ А.А. (1927-2010)

Альфред Альфредович Зилинг происходил из семьи прибалтийских немцев. Он рассказывал, что род Зилингов переселился в Россию ещё при Иване Грозном, чтобы служить в личной охране царя. Ребенком был репресирован вместе с родителями как «сын врага народа». Реабилитировали в 2005 году. Выпускник кафедры динамической геологии 1971 года. В течение многих лет работал в знаменитой Енисейской экспедиции, научным руководителем которой был В.Е. Хаин (1914–2009).

БРОДЯГА

Утра ясный взор
Утонул в заре.
Пики дальних гор,
Словно в январе.
Синева небес,
Алый лист рябин,
Первобытный лес...
Я иду один.
Мне преграды нет,
Я иду тропой,
Той, где первый след
Человека – мой.
Молоток в руках,
Сбоку длинный нож –
Мне неведом страх,
Незнакома дрожь.
Пусть зовёт уют,
Пусть зовёт любовь –
Я на сердце пут
Не одену вновь.
Влит тончайший яд
В звук волшебный – «даль»,
Те, кто им объят,
Те, цепей рвут сталь,

Рубят якоря
И уходят прочь –
В дебри иль моря,
В утро или в ночь.
Я и сам давно
Далями томим,
И я, как вино,
Пью их синий дым.
Только жажды им
Утолить не мог
И всегда томим
Жаждою дорог.

БОРУКАЕВ Ч.М. (1936 – 1998)

Чермен Бейбулатович Борукаев родился во Владикавказе, в семье театральных деятелей. Нашу кафедру окончил с отличием в 1958 году.

После окончания аспирантуры вынужден был уехать в Новосибирск, где увлёкся одной из сложнейшей проблем современной геологии – изучением докембрия, то есть самой древней историей континентов.

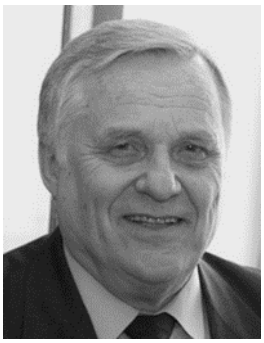
В 1983 году блестяще защитил докторскую диссертацию, в 1987 – был избран в члены - корреспонденты АН СССР, в 1988 – стал директором Института тектоники и геофизики Дальневосточного отделения АН СССР в Хабаровске. В 1992 году, по состоянию здоровья, Чермен Бейбулатович вернулся в Новосибирск, где возглавил отдел в Институте геологии и кафедру общей и региональной геологии в Новосибирском университете...

После ухода из жизни на рабочем столе учёного остались не только рукописи новых оригинальных работ, но и строки стихов, которые увидели свет в книге «*Дробинки*», изданной в 2000 году в Новосибирске.

ЛИРИЧЕСКОЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ

Во всё мой взор пытливый проникает:
Там цепь холмов по простиранию идёт,
Плащеобразно х**о**лмы облекает
Делювий, а под холмами течёт
Река бурливая, неся осадки в море,
Свободно разливаясь на просторе,
Вся в камнях, в шуме, в грохоте и в пене.
Как хорошо, что я живу в антропогене!

БОЖКО Н.А.



Николай Андреевич Божко родился 28 февраля 1937 года, в Москве.

В 1954 году окончил среднюю школу в Полтаве и в том же году поступил на Геологический факультет нашего Университета.

После окончания МГУ работал в Хакасии, на Горном Алтае, в Прибайкалье, а также в Иране, Гане и других регионах и странах. В 1969 году защитил кандидатскую диссертацию, в 1981-м – докторскую.

В настоящее время Николай Андреевич – профессор кафедры динамической геологии, известный специалист по докембрию, член многих учёных советов, лауреат Государственной премии.

НАЧАЛО ПЕРВОЙ ПРАКТИКИ

Оставь свои амбиции,
Университетский пыл.
Шестая экспедиция,
Затерянный Кызыл…
А место – знаменитое!
И, чувствуя момент,
Со ртом полуоткрытым
Гляжу на монумент*.
Не в солнечном Бомбее,
Не в тундровой глуши,
А здесь – на Енисее
Центр Азии нашли.
Тувинцы остроглазые
Рассматривают нас…
Я рад, что с Центра Азии
Дорога началась!

1957 г.

* В Кызыле находится Географический Центр Азии.

ПОЛЕТАЕВ А.И.

Выпускник кафедры 1967 года.

Работал в Якутии, Средней Азии, на Кавказе и в Центральных районах Европейской части России. Служил в пограничных войсках.

Заведующий кафедральной лабораторией геологических исследований космическими методами; кандидат геол-мин. наук.

Автор более 200 публикаций, в том числе около 20 книг, одна из которых «*Геология для всех, или Поговорим о странностях… Земли*» выдержала четыре издания (2007, 2009, 2013, 2017); разработчик нескольких учебных курсов; инициатор исследований по инженерной линеаментологии, ротационной тектонике и этнотектонике.

Член правления Клуба учёных МГУ, Московского общества испытателей природы и Учёного совета Московского планетария.

Инициатор издания альманаха «*Воробьёвы горы, или Новая Калліопа*» и серии «*Библиотечка ЛитКлуба* «*Воробьёвы горы*». Составитель антологии «*Поэты Московского Университета. 1755 – 2005*» (Электронная версия), сборников стихов: «*Поэзией стала для нас геология*» (2004/2005), «*Под вечной крышей неба*» (2008), «*От недр своих…*» (2011) и «*Тут начало, тут Отчизна…*», выпущенного в честь 70-летия кафедры в 2013 году.

Состоит в Союзе писателей России и Творческом клубе «*Московский Парнас*». Лауреат литературной премии им. А.П. Чехова, девиз которой «*За верное служение отечественной литературе*».

ПРОФЕССИОНАЛЫ

По промоине вверх, вверх!
По обрывистым склонам – вниз!
Так замаливают грех.
Так вымаливают жизнь.
Над тобой высота – синь!
Под тобой глубина – чернь!
Так не стоит ругать жизнь,
Что бросает порой тень.
Ты шагай и шагай вперёд.
Не оглядывайся назад.
Не проси, чтобы наоборот,
Сам не будешь этому рад...

Копет-Даг, 1968 г.

* * *

Над Гиссаром, над Гиссаром
Солнце кружит жёлтым шаром!
Птицы дивные поют, Зоревать нам не дают…
Над Гиссаром, над Гиссаром
Встал восход покровом алым…
И, как будто для порядка, Осветил наши палатки…
Над Гиссаром, над Гиссаром
Грозы катят вал за валом…
Мы ж не прячемся от них, Каждый пашет за двоих!
Над Гиссаром, над Гиссаром
Солнце пышет сочным жаром…
Солнце пышет сочным жаром?
Значит, жизнь идёт не даром!

ИСПАНСКИЙ ДРОК в КРЫМУ

Памяти Петра Николаевича НИКОЛАЕВА

Грин любил тебя, мой дрок, украшал тобой порог,
фантастические выси
и тропинки в старом Лиссе.
Жёлтый дрок, как жёлтый рок, серпантином вдоль дорог:
то ли украшение, то ль символ прегрешения…
Ты опасен, как порок,
жёлтый дрок, пахучий дрок.
Невесом ты, как парок жертвоприношения
дорожного крушения.
Я даю сейчас зарок: верьте, дайте только срок –
напишу опять про дрок,
что в Крыму вовсю продрог,
выпив Солнца жаркий сок, вырвав тела Солнца клок…
Жёлтый дрок, опасный дрок,
взгляд туманит словно смог,
в ноздри бьёт как крепкий грог.
…Кто б меня бы поберёг
от тебя, коварный дрок?

9 785001 229582

ДИНАМИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ
Электронный научно-образовательный журнал 2019/1

Издательство «Перо»
109052, Москва, Нижегородская ул., д. 29-33, стр. 15, ком. 536
Тел.: (495) 973-72-28, 665-34-36
Подписано к использованию 07.02.2019.
Объем Мбайт. Электрон. текстовые дан. Заказ 088.