

Еникеев Б.Н., Элланский М.М. Обобщенный принцип непрерывного смещения и расчет проницаемости и электропроводности горных пород. Бюлл. МОИП сер. "Геологическая". 1974. т.XLIX (1) стр.159-160.

http://www.mmell.narod.ru/OLR_MOIP.pdf

БЮЛЛЕТЕНЬ М. О-ВА ИСП. ПРИРОДЫ, ОТД. ГЕОЛОГИИ, Т. XLIX(1), 1974

ХРОНИКА

о деятельности геологических секций Московского общества испытателей природы

Геологическая секция

(председатель М. В. Муратов, секретари Г. И. Макарычев, В. М. Цейслер)

10 апреля 1973 г. Ю. Г. Леонов сделал доклад «Тектоническая природа девонского орогенеза и вопрос о каледонской тектонической эпохе» (см. автореферат). В прениях А. А. Моссаковский, Г. И. Макарычев, А. Е. Михайлов отметили упрощенческое понимание докладчиком геосинклинали как простого прогиба. В геосинклиналях существуют длительно развивающиеся поднятия, что определяет сложные соотношения с ними моласс (разную величину перерыва, характер дислоцированности и т. д.). По их мнению, отразить девонский орогенез от геосинклинального развития предшествовавшего титона ошибочно. Нужен генетический подход, чтобы познать существо явления. В. И. Теодорович считает основным недостатком доклада суженное понимание докладчиком геосинклинали: по существу докладчик понимает под геосинклиналью лишь начальный период ее прогибания. Современная же геология рассматривает геосинклиналь как определенную циклическую последовательность геологических событий, начинающуюся прогибанием и заканчивающуюся интенсивной складчатостью и магматизмом, поднятием (замыкание геосинклинали). Понимание докладчиком геосинклинали далеко от современного и наоборот близко к первоначальному. Д. С. Кизевальтер, Л. П. Зоненшайн, согласившись с мнением выступивших, подчеркнули, что противопоставлять девонский орогенез предшествующему типу геосинклинального развития ошибочно, так же как ошибочно считать орогенез планетарным явлением, а геосинклинальный процесс — явлением региональным. Ю. Г. Гатинский и В. М. Цейслер, А. А. Моссаковский согласились с докладчиком в том, что вспышка орогенеза в начале девона имела планетарное значение. По мнению В. А. Голубовского, необходимо различать процесс горообразования и осадконакопления в девонское время. А. Е. Михайлов и В. И. Теодорович указали на вольное толкование докладчиком областей сноса для образования девонских моласс (Тува, Казахстан).

24 апреля В. П. Авров сделал доклад «Геологическое строение и особенности тектонического развития зоны сочленения Алжирской Сахары и Сахарского Атласа» (см. автореферат). В выступлениях А. Е. Шлезингер, Г. И. Макарычев сделали ряд замечаний по содержанию доклада: главные различия соприкасающихся структурно-функциональных зон оказались не раскрытыми. Особенно спорна трактовка докладчиком о геосинклинальной природе в мезозойское время Сахарского Атласа. По мнению В. И. Теодоровича, абсолютно неясно, что же нового внес докладчик в понимание геологии данной территории и что принадлежит именно ему, а не многочисленным его предшественникам и соавторам по работе. Следует обратить внимание бюро секции на большую осторожность при постановке докладов по зарубежной тематике, учитывая нередкую их компилятивность. По мнению Шлезингера, Сахарский Атлас в это время являлся авлакогеном, а не дислокациям сходен с Колетдагом. По мнению Макарычева,

Сахарский Атлас по набору формаций и типу складчатости сходен с юрским Южно-Ферганским приразломным прогибом.

15 мая под председательством А. Е. Михайлова состоялось заседание секции, на котором Н. И. Погребной сделал сообщение «О приуроченности крупных угленосных бассейнов к зонам региональных разломов земной коры», а также был заслушан коллективный доклад А. А. Зятевского (докладчик), Л. А. Скорыходовой, В. М. Смирнова, Ю. М. Фомин «О возможности дешифрирования по аэрофотоматериалам погребенных долин, уступов и депрессий в связи с павскачки долинно-балочного типа» (см. автореферат). Основной вывод доклада о приуроченности крупных угленосных бассейнов к зонам региональных разломов, не подтверждается в Донбассе. В самом деле, с юга Донецкий бассейн принадлежит не к складчатой системе, в целом параллельной ему, а к Украинскому шиту, внутренняя структура которого под очень большим углом пересекается с донецкими простираниями. Другая же сторона «угла» в виде Волгоградской флексуры вообще не имеет ничего общего со складчатой системой. А. Е. Михайлов обратил внимание докладчика на выяснение причин происхождения самих впадин, заполненных угленосными отложениями. Разломы, по мнению Михайлова, могут иметь вторичный характер. М. И. Епифанов и Н. И. Таранов поддержали положения, высказанные докладчиком. По второму докладу в прениях выступили Д. Г. Сапожников, М. И. Епифанов, Н. И. Погребной, А. Е. Михайлов, отметили перспективность общего направления работы. Д. Г. Сапожников высказал разочарование в том, что докладчик пока не может отделить перспективные долины с бокситами от долин, где бокситов нет. В. И. Теодорович указал, что выработанные докладчиком критерии для распознавания ископаемого рельефа следует применять в каком-либо новом перспективном бокситном районе. Только тогда и можно будет окончательно убедиться в правильности предлагаемой методики.

29 мая заслушаны доклады В. И. Драгунова «О систематике и классификации геологических формаций» и В. М. Цейслера «Об иерархии формационных подразделений в связи со структурными элементами земной коры» (см. автореферат). Выступившие в прениях отметили интерес, с которым были прослушаны доклады, и разнообразие подходов к систематизации формаций. М. И. Епифанов отметил необходимость иллюстрации положений графикой с изображением формаций. С. А. Салун подчеркнул, насколько масштаб карт определяет величину ассоциаций, выделяемых как формаций. С. В. Мейн высказал сомнения в правомерности подхода к иерархии формаций в связи со вторым докладом В. И. Теодоровича отметил, что площади распространения некоторых формаций на Русской платформе значительны.

Геофизическая подсекция

(председатель П. Н. Кропоткин, секретарь Б. М. Вилнень)

3 апреля на заседании под председательством А. А. Борисова были заслушаны доклады В. Л. Соколов и М. О. Хвильский «Методика и результаты статистического анализа магнитного поля Прикаспийской впадины» и Н. Я. Куни и Г. И. Семенова «Строение Южно-Каспийской впадины по результатам комплексной интерпретации геофизических данных» (см. автореферат).

10 апреля на заседании подсекции геофизики МОИП совместно с лабораторией тектонико-геофизики Геологического института АН СССР был заслушан доклад В. М. Трубинина «Стратиграфия айсчальских отложений Колетдага (на основе палеомагнитных данных)» (см. автореферат).

17 апреля на заседании совместно с геологической секцией был заслушан доклад В. А. Бакирова «К вопросу о статистическом законе распределения некоторых типов деформаций земной коры и связанных с ними явлений» (см. автореферат).

25 апреля состоялся семинар по методике интерпретации аномального гравитационного и магнитного полей, организованный подсекцией геофизики МОИП совместно с кафедрой полевой геофизики МИНХ и ГП. На семинаре под председательством П. Н. Кропоткина и В. И. Шрайбмана было заслушано 6 докладов: В. И. Шрайбман «Некоторые проблемы интерпретации гравитационных и магнитных аномалий при решении структурных геологических задач», А. П. Гушин и В. И. Шрайбман «Корреляционный анализ двумерных геолого-геофизических полей: с использованием

ЭВМ»; М. С. Жданов и О. В. Витвицкий «Способ подавления влияния боковых объектов при интерпретации гравитационных аномалий»; О. В. Витвицкий «О возможности учета неоднородности оператора связи между геологическими характеристиками и геолого-геофизическими параметрами»; В. Н. Розенберг «Применение корреляционного метода разделения гравитационных аномалий при изучении тектоника угольных месторождений»; А. Ш. Файтельсон и М. И. Юркина «Изменение во времени высот и силы тяжести» (см. авторефераты).

22 мая были заслушаны доклады: И. В. Аваньина и Г. П. Ельцовой «О коэффициенте затухания интенсивности на территории Средней Азии и связи его с сейсмичностью и тектоникой»; А. А. Николаевского, Г. А. Егоровой, М. П. Степановой, Л. М. Цынышевой «Карты сейсмичности и некоторые сейсмо-геофизические характеристики крупных сейсмоактивных районов юга СССР»; Ю. К. Шуклина «Характеристика сейсмоопасных регионов Альпийского складчатого пояса юга СССР» (см. авторефераты).

Межсекционный семинар по применению математики в геологии (председатель М. В. Рап, секретарь С. Н. Чернышев)

Осенью 1972 и зимой и весной 1973 г. в Московском обществе аспирантов и молодых работников семинар по проблеме применения математических методов в ЭВМ в геологических исследованиях. С докладами выступили сотрудники различных организаций. Темы докладов связаны преимущественно с решением конкретных задач разведки оснований сооружений, нефтяных, газовых и других месторождений математическими методами (см. авторефераты, стр. 151—180).

14 ноября 1972 г. с докладом «Методы последовательного оценивания при определении необходимого числа наблюдений» выступил Б. Г. Слепцов (см. автореферат). Доклад вызвал много вопросов, преследовавших цель выяснения деталей математических процедур. Выступившие М. В. Рап и С. Н. Чернышев в целом одобрили доклад, подчеркнув необходимость подробного изложения математической стороны дела в каждом докладе на семинаре. Б. С. Шоринков высказал о методе оценки необходимого числа наблюдений, применяемом в биологических исследованиях. В. М. Роненков рекомендовал сопровождать доклады более подробным разбором геологических примеров, чему Б. Г. Слепцов, математик по образованию, действительно уделял мало внимания.

7 февраля 1973 г. состоялись доклады С. Л. Афанасьева «Геологические секунды — элементарные флишевые ритмы и методика их выделения» и Ю. П. Смирнова «Гармонический анализ верхнемеловых разрезов Дагестана при выявлении периодичности составляющих процесса геологического развития», посвященные анализу ритмичности слоистых толщ (см. авторефераты). Авторам удалось выявить ритмы нескольких порядков и, пользуясь определениями абсолютного возраста, указать для каждого из них период в годах. В. Г. Морозова рекомендовала Б. Г. Смирнову в дальнейших исследованиях не упускать возможности членения разрезов по биостратиграфическим данным.

21 февраля с докладом «Выбор методов и системы профилей для построения структурных карт заданной точности» (см. автореферат) выступили С. А. Скида и И. М. Чапковский.

14 марта с докладом «Оценка нефтегазоносности ловушек методом линейно-дискриминантной функции в некоторых районах Туранской плиты» выступил Р. М. Арутюнян (см. автореферат). Используя обширный фактический материал для формирования образа ловушки, автор, однако, допустил некоторые погрешности на что ему было указано при обсуждении. Применение перспективной методики раз- познавания образов и решение актуальной проблемы вызывает интерес к работам Р. М. Арутюняна.

28 марта состоялись доклады Л. П. Ярославского и В. Е. Гандлера «Возможности автоматизации геологического дешифрирования с применением ЦВМ» и В. Е. Гандлера и В. А. Горбатова «Возможности выявления, изучения, оценки ритмичности высших порядков при помощи комплексного использования аэро- фотоматериалов микрофотометрирования и вычислительной техники» (см. автореферат). Предложено воспользоваться критерием С. В. Гольдина для проверки подмодальности (Р. И. Коган), фиксировать границы объекта по яркости, так как от степени дробления может зависеть число мод (А. Ф. Лимонов).

4 апреля состоялся доклад А. П. Бабенюшева и Е. Н. Коломенского «Использование факторного анализа для преобразования пространства признаков при многомерном анализе» (см. автореферат).

18 апреля состоялся доклад В. М. Гороховского «Некоторые методологические вопросы применения статистических методов в инженерно-геологических исследованиях» (см. автореферат), который содержал краткую распространенных в геологических исследованиях способов применения корреляционного анализа, основанного на средних значениях, способов построения обобщенного разреза скважин и других способов обобщения геологического материала. Автор выступил за построение инженерных решений по обобщенным показателям.

16 мая состоялись доклады Б. Н. Еникеева и М. М. Элланского «Принципы непрерывного смешения и эффективные физические свойства гетерогенных сред» и «Обобщенные принципы непрерывного смешения и расчет проницаемости и электропроводности горных пород» по проблеме разведки и оценки месторождений нефти и газа и доклад С. Н. Чернышева «Уравнения связи параметров землетрясений с параметрами сейсмодислокаций» (см. авторефераты). По докладу Б. Н. Еникеева и М. М. Элланского С. Н. Чернышев отметил теоретическое значение доложенной работы, представляющей широкое обобщение понятий в области физики горных пород. По докладу С. Н. Чернышева С. Л. Афанасьевым и М. М. Элланским была одобрена постановка задачи и принята математическая модель. М. М. Элланский заметил, что при наличии объема материала не следует пользоваться уравнениями порядка выше третьего.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Тектоническая природа девонского орогенеза и вопрос о каледонской тектонической эпохе

Ю. Г. Леонов

(Автореферат доклада, прочитанного 10/IV 1973 г.)

Девонские орогенные образования типа древнего красного песчаника широко распространены в областях, которые принято относить к каледонидам. Их большое сходство указывает на однообразие девонских тектонических процессов. Обнаруживается почти одновременное начало девонского орогенеза.

Девонские комплексы обычно рассматриваются как молассы, связанные с заключительной — орогенной стадией развития каледонских геосинклиналей. Это привычное представление кажется сомнительным. Считая девонский орогенез естественной стадией геосинклинального процесса, следовало бы ожидать соответствия между тектонической обстановкой в девоне и додевонскими процессами: единообразие девонских движений должно было бы иметь в основе сходную додевонскую историю. В действительности этого нет: анализ истории развития различных «каледонских» областей Земли обнаруживает большое разнообразие додевонской истории, резко контрастирующее с «унифицированностью» девонского орогенеза. Последний локализуется на зоны с разной подвижностью, с разным временем консолидации. Так, в метаморфической зоне Британских островов, в Каталин и в Западном Санне он непосредственно следует за геосинклинальным этапом (хотя конкретные формы геосинклинального развития в этих зонах неодинаковы), а в геосинклиналях Лайсан (Австралия), сохранившей геосинклинальную подвижность до раннего девона, локализуется на еще не завершившийся геосинклинальный процесс. В остальных районах девонского орогенеза консолидация была более ранней: от времени завершения геосинклинального прогибания он отделен значительными промежутками времени. Он накладывается на зоны консолидированные в конце ордовика — середине силура — в Казахстане, в середине ордовика — в метаморфической зоне Британских островов, в кембрии — раннем ордовике — в Минусинском районе и т. д. Для многих из них характерно несоответствие девонского и додевонского структурных планов, также свидетельствующее об их формировании за счет разных процессов. В Гренландии и на Шпицбергене, наконец, в раннем — среднем палеозое вообще отсутствуют признаки геосинклинального прогибания.

Такое несоответствие между сильной региональной изменчивостью субстрата и истории его становления, с одной стороны, и однообразием девонских движений, с другой, свидетельствует о независимости девонского орогенеза от геосинклинального

гое зависит от выбора множества, по которым их получают. Меняя выбор, на одном и том же материале можно получать несопоставимые результаты.

Пояснение: обсуждаются вопросы, связанные со вторым применением. Поскольку высокая достоверность оценок отдельных параметров не гарантирует такой же достоверности инженерных решений, предлагается переход к непосредственному рассмотрению множества решений по имеющемуся множеству параметров, в которые включаются также и структурные свойства объектов.

Неполнота списка альтернатив приводит к тому, что получаемые методом доверительных интервалов достоверности оценок средних всегда завышены. Этот недостаток устраняется использованием модели биномиального распределения. Одновременно предлагается характеризовать расчетное значение его обеспеченностью (вероятностью, что истинное значение не превышает данное) и достоверностью (вероятностью, что значение, заданное обеспеченностью, покрыто заданным интервалом). Первая определяется свойствами объекта и классом сооружения, вторая — детальностью исследований. Показывается, что длина ряда наблюдений ограничивает достоверность, но практически не мешает выбору обеспеченности. Отмечается, что во многих случаях переход к кусочно-однородным моделям, достигаемый выделением расчетных значений, равнозначен столь кардинальной подмене задачи, что существующие подходы у оценки достоверности решений становятся бессмысленными.

Принцип непрерывного смешения и эффективные физические свойства гетерогенных сред

Б. Н. Еникеев, М. М. Элянский

(Автореферат доклада, прочитанного 16/V 1973 г.)

Нахождение эффективных значений физических свойств X -электропроводности, гидропроводности, скорости упругих волн, мембранных потенциалов и т. д. в гетерогенных средах — пороках со сложной структурой порового пространства, произвольную задающих пачках или линзах с резко меняющимися физическими свойствами и т. д. — представляет значительные аналитические трудности.

К. Лихтенекер и К. Ротер показали, что для широкого класса гетерогенных, двухкомпонентных сред, обладающих некоторыми свойствами симметрии и пропорциональности, возможно простое аналитическое решение задачи. Свойство симметрии заключается в том, что последовательное непрерывное сведение усредненных физических свойств неоднородных элементов меньших размеров к усредненным свойствам состоящих из них элементов больших размеров происходит по одному и тому же закону.

Свойство пропорциональности сводится к тому, что при возрастании значений изучаемого свойства каждой из компонент среды — X_1 , X_2 в одинаковое число раз эффективное значение этого свойства среды возрастает в такое же число раз.

К. Лихтенекер и К. Ротер, применяя указанный подход для расчета диэлектрической проницаемости двухкомпонентной среды, получили следующие формулы:

$$X^m = X_1^m V_1 + X_2^m (1 - V_1) \quad m = 0 \quad (1a)$$

$$X = X_1^V V_1 + X_2^{(1-V)} \quad m = 0 \quad (1b)$$

Здесь V_1 — объемная доля первой компоненты, m — постоянная, варьирующая от -1 до $+1$. Первая из этих формул при $m = \pm 1$ совпадает с известным аналитическим решением для плоскопараллельного случая.

В докладе поясняется, что в качестве свойства среды X целесообразно использовать не только диэлектрическую проницаемость, но и ряд других физических свойств, в том числе и сложных, выражающихся как функции нескольких простых (отношение величин мембранных потенциалов к плотности тока). Кроме того, подход работы (1) обобщается на случай, когда среда состоит из более чем двух компонентов. Формулы для этого случая аналогичны формулам (1a) и (1b), но содержат сумму или соответственно произведение произвольного числа членов.

С использованием вышеизложенного подхода получен ряд формул для расчета электропроводности, мембранных потенциалов, модуля объемного сжатия, модуля сдвига и т. д., частными случаями которых являются эмпирические и теоретические соотношения, установленные ранее.

Кроме указанных физических свойств существуют свойства, применимые к которым постулаты работы (1) (свойства симметрии и пропорциональности) не очевидны, но для которых установлены соотношения вида (1a) с $m = \pm 1$, что позволяет предположить справедливость более общих уравнений.

Примерами таких соотношений являются уравнения для скорости продольных волн (Вилли и Грегори, 1958, $m = -1$), для показаний нейтронных методов (Э. И. Милославский, 1972, $m = -1$), для показаний гамма-гамма метода ($m = +1$).

Обобщенный принцип непрерывного смешения и расчет проницаемости и электропроводности горных пород

Б. Н. Еникеев, М. М. Элянский

(Автореферат доклада, прочитанного 16/V 1973 г.)

В реальных горных породах число компонент n обычно больше двух. В этом случае, рассматривая смесь двух компонент как новую независимую и применяя принцип непрерывного смешения неоднократно, можно получить обобщенную формулу непрерывного смешения:

$$x = \left[V_1 x_1^{m_1} + (1 - V_1) \left[\frac{V_2}{1 - V_1} x_2^{m_2} + \dots + \left(1 - \frac{V_2}{1 - V_1} \right) \left(\frac{V_3}{1 - \frac{V_2}{1 - V_1}} x_3^{m_3} + \dots \right)^{\frac{m_2}{m_3}} \right]^{\frac{m_1}{m_2}} \right]^{\frac{1}{m_1}} \quad (1)$$

Здесь x_i — характеризует физическое свойство, а V_i — объемную долю i -той компоненты.

В породе при расчете проницаемости и электропроводности можно выделить два структурных уровня неоднородности.

Уровень микро неоднородностей. На этом уровне, учитывая неоднородности, связанные с различием размеров поровых каналов и распределением цементов через объемные доли микрокомпонентов — V_i , — можно получить при помощи (1) формулу для эффективных значений проницаемости $K_{\text{пр}}$ и электропроводности σ_n макрокомпоненты породы. Рассмотрим скорость фильтрации W_i и электропроводность σ_i i -го порового канала, отличающегося от других каналов радиусом r_i ($r_{i-1} < r_i < r_{i+1}$; $1 \leq i \leq n$). Обозначив $x_i = W_i$ или $x_i = \sigma_i$, запишем для них следующие выражения:

$$x_i = W_i = [\varphi(r_i)] \frac{\text{grad } P}{\mu} \quad x = K_{\text{пр}} \frac{\text{grad } P}{\mu} \quad (2a)$$

$$x_i = \sigma_i = \psi \left[\sigma_n; \sigma_{\text{св}}; \left(\frac{\delta}{r} \right)_i \right] \quad x = \sigma_n \quad (2b)$$

Здесь P — давление; μ — вязкость; $\varphi(r_i)$ определяется законом течения (например, законом Пуазейля); σ_n — электропроводности воды в двойном слое; δ — «толщина» двойного слоя. $\psi \left[\sigma_n; \sigma_{\text{св}}; \left(\frac{\delta}{r} \right)_i \right]$ определяется геометрией взаимного расположения порового раствора и двойного слоя.

Формулы для расчета σ_n и $K_{\text{пр}}$, получаемые из (1) и (2), в частных случаях совпадают с ранее известными. Так, если в (2b) положить $\left(\frac{\delta}{r} \right)_1 = 0$ и $\left(\frac{\delta}{r} \right)_2 = 1$, получим большую часть известных формул для электропроводности глинистых песчанников. Положив в (2a) $V_i = K_n \left[\frac{2i-1}{8n^2} \right]^2$, где K_n открытая пористость и $m_1 = m_2 = \dots = m_n = m = -1$, получим известную формулу Маршалла (1958) для расчета $K_{\text{пр}}$.

Для случая $n=2$, когда r можно выразить через K_n и удельную поверхность S ($r = \frac{K_n}{S}$) получаем формулу Козени — Кармана (1939). Для случая, когда r выражается через эффективный диаметр зерен, можно получить ряд формул других авторов и их обобщение с учетом функции распределения диаметров зерен.

Предельным переходом при $n \rightarrow \infty$ ($m_1 = m_2 = m_3 = \dots = m_n = m$) можно получить из (1) формулу для расчета $K_{\text{пр}}$ в случае непрерывного распределения размеров пор по радиусу, причем $K_{\text{пр}}$ зависит от дисперсии этого распределения.

Уровень макронеоднородностей. На этом уровне, учитывая неоднородности — линзы, пласты и т. д. — при помощи (1), положив $x_1 = K_{\text{пр}}$ или $x_1 = \sigma_n$, можно получить формулы для расчета проницаемости и электропроводности макронеоднородных систем.

Первая из этих формул совпадает с точностью до второго порядка малости по $\frac{K_{\text{гир}}}{(K_{\text{гир}} - K_{\text{гир}})}$ с формулами М. И. Шнидлера, Б. И. Левин (1966), Ж. Матерона (1967), М. М. Мендельсон (1969).

Уравнения связи между интенсивностью землетрясений и параметрами сейсмодислокаций

С. Н. Чернышев

(Автореферат доклада, прочитанного 16/IV 1973 г.)

Автор поставил перед собой задачу рассмотреть связь интенсивности землетрясения в баллах шкалы MSK-64 с амплитудой, длиной и зиянием в многомерном пространстве признаков, описывая более тесные зависимости, чем в предыдущих исследованиях. Эта надежда основана, во-первых, на исключении случайной величины ослабляющей связь энергии (магнитуды) с параметрами разрывов на поверхности земли. Имеется в виду глубина гипоцентра землетрясения, которая исключается при переходе от энергии к интенсивности. Во-вторых, применение многомерного анализа в силу одномоментного учета нескольких признаков и связей между ними не только дает более тесные зависимости. Имеется в виду использовать полученные зависимости для реконструкции интенсивности прошлых землетрясений, о которых нет инструментальных или макросейсмических данных, в соответствии с палеосейсмологическим методом.

Для оценки связей собраны по советским и зарубежным научным публикациям параметры 51 землетрясения с интенсивностью по макросейсмическим данным от 6,5 баллов. В каталог включались максимальные параметры максимальной трещины, возникшей при землетрясении. Каждое землетрясение представлено, как правило, одной точкой в многомерном пространстве сейсмодислокаций. Интенсивность, указанная в литературе, приведена к шкале MSK-64 по таблице Медведева (Медведев, Карапетян, Выховский, 1968). В результате статистической обработки материала по программе РЕГР, составленной Петровым и Элланским, получено 36 уравнений связи. Некоторые из них:

$$I = 8,49 + 0,69 L + 0,14 L^2; \quad s = 0,7. \quad (1)$$

$$I = 8,23 - 0,34 A + 0,41 A^2; \quad s = 0,7. \quad (2)$$

$$I = 5,57 + 3,25 B - 0,58 B^2; \quad s = 0,9. \quad (3)$$

$$I = 13,72 + 4,05 L - 12,98 B + 1,15 L^2 - 5,22 LB + 8,91 B^2 + 0,15 L^3 - 0,71 L^2 B + \quad (4)$$

$$+ 1,64 LB^2 - 1,77 B^3; \quad s = 0,5. \quad (4)$$

$$I = 12,08 + 6,57 L - 11,21 A + 3,38 L^2 - 9,71 LA + 8,75 A^2 + 0,56 L^3 - 2,25 L^2 A + \quad (5)$$

$$+ 3,33 LA^2 - 1,93 A^3; \quad s = 0,6. \quad (5)$$

$$I = 6,89 - 2,65 A + 3,28 B + 5,24 A^2 - 9,26 AB + 4,16 B^2 - 0,21 A^3 - 1,31 A^2 B + \quad (6)$$

$$+ 3,37 AB^2 - 1,81 B^3; \quad s = 0,4. \quad (6)$$

$$I = 10,05 + 1,46 L - 2,64 A + 0,11 B + 0,21 L^2 - 0,49 LA - 0,084 LB + 1,33 A^2 - \quad (7)$$

$$- 1,04 AB + 0,60 B^2; \quad s = 0,3. \quad (7)$$

I — интенсивность по шкале MSK-64 в баллах; L — десятичный логарифм длины трещины, взятой в километрах; A — десятичный логарифм амплитуды смещения крыльев трещины, взятой в сантиметрах; B — десятичный логарифм зияния трещины, взятого в сантиметрах; s — стандартная ошибка решения в баллах шкалы MSK-64.

Как видно из сравнения уравнений, с увеличением количества аргументов и увеличением порядка уравнения точность оценки интенсивности на основе предложенного расчета возрастает, что подтверждает целесообразность предпринятого подхода. Для проверки полученных уравнений по ним рассчитана интенсивность пяти известных землетрясений, не учтенных при выводе зависимостей. По уравнениям порядка от первого до третьего получены оценки I с ошибкой, не превышающей 2. По причине ограниченности материала уравнения построены без дифференциации по грунтам или регионам. По смыслу статистической процедуры они отражают средние условия. При вычислении балла для средних грунтов по конкретной сейсмодислокации необходимо учесть инженерно-геологические условия, в которых наблюдалась трещина, прибавив поправку, которая по величине равна, а по знаку обратна приращению балльности при сейсмическом микроайрировании.

И еще пару слов про МОИП.

МОИП был тогда некоей отдушной. Там выступали Любищев, С.В.Мейен, Ю.А.Шрейдер,

Эфроимсон.

Из геофизиков пару раз выступал Ш.А.Губерман.

Вначале Элланский, а потом и я и Я.М.Вайнберг стали устраивать семинары и издавали

по их материалам сборники. Но это уже другая и длинная история, может как-нибудь и напишу.

Потом, когда М.В.Рац заразился работами Г.П.Щедровицкого и оба Щедровицкий и

Попов и прочая публика из ММК у нас выступала.

Присутствовали мои добрые друзья (которые сейчас далеко) — А.В.Булатов и

А.Э.Дашевский.

Ключевые слова:

Электропроводность горных пород, сопротивление, водонасыщенность, глинистые песчаники, непрерывное смешение, обобщенная проводимость, собственная поляризация, математические методы в геологии, МОИП, параметр пористости, параметр насыщения, глинистость, Лихтенеккер и Ротер, фракталы, Looenga, статистическая смесь.

Conductivity rocks, resistivity rocks, water saturation, shaly sandstones, continuous mixing, mixing rule, mathematical models in geology, MOIP, Lichtenecker, Roter, fractal.

Доклаживалось это на семинаре у М.В.Раца (в Зоомузее МГУ) который назывался “Межсекционный семинар по применению математики в геологии” .

Доклад о принципе непрерывного смешения был сделан Б.Н.Еникеевым и М.М.Элланским в 1973 году (ниже страницы копии оттиска Бюллетеня Московского общества испытателей природы - основано, между прочим, в 1805 году).

Выступление было основано на известной сейчас публикации:
Lichtenecker, K., Rother, K. Die Herleitung des logarithmischen Mischungsgesetzes aus allgemeinen Prinzipien der stationären Stromung. Physikal. Z. 32, 255–260

Про статью Looyenga я прочел в книге Beek (он был редактором тома) про теорию диэлектриков.
H. Looyenga, “Dielectric constants of mixtures,” Physica, vol. 31, pp. 401–406, 1965.

Вообще про это я уже писал, вспоминая Элланского на Форуме по петрофизике
<http://petrophysics.borda.ru/?1-4-0-00000041-002.001>

В тезисах, конечно, видны следы эйфории, не во всем оправдавшейся, но уже тогда мне удалось обобщить вывод уравнения Looyenga на эллипсоиды (первое переоткрытие наблюдалось лет на десять позже).

Впоследствии удалось применить этот подход к существенно более сложной задаче расчета мембранных потенциалов.

Про связь с ассоциативными средними мы тогда не знали (я много позже для себя эти работы 30-х годов обнаружил), а понятия фракталов и вовсе еще не было. Эти связи удалось обнаружить в последующих публикациях и частично отразить в книге:

Элланский М.М., Еникеев Б.Н. Использование многомерных связей в нефтегазовой геологии М Недра. 1991.

Началось все еще раньше (со студенческой публикации):

Еникеев Б.Н. К модели сопротивления многокомпонентной горной породы. Краткие тезисы докладов к Всесоюзной конференции студентов-нефтяников. М.:1971стр.48-51.

Потом были новые публикации по теме (наиболее затрагивающие тему выделены **BOLD**)

Еникеев Б.Н. К проблеме построения моделей удельного электрического сопротивления горных пород (некоторые проблемы теории обобщенной

проводимости многокомпонентных смесей). Саратов: СГУ Математические методы в геологии. 1979 стр.70-96. (эта большая статья пролежала в редакции с 1974 года) и потому вышла не намного раньше статей P N Sen):

Sen P N 1981 Relation of certain geometrical features to the dielectric anomaly of rocks Geophysics **46** 1714–20

Sen P N, Scala C and Cohen M H 1981 A self-similar model for sedimentary rocks with application to the dielectric constant of fused glass beads Geophysics **46** 781–95

Еникеев Б.Н., Кашик А.С., Чуринова И.М., Шпикалов Ю.А. Системный подход к задаче оценки свойств пласта по данным каротажа. М.: ВНИИОЭНГ 1980. 38 стр.

Дмитриева Т.А., Еникеев Б.Н., Чуринова И.М. Фундаментальные уравнения и неравенства в петрофизике и их сравнительная эффективность в условиях терригенного разреза. Сборник докладов второго научного семинара стран-членов СЭВ по нефтяной геофизике. т.2 Промысловая геофизика. М.: СЭВ 1981 стр.68-77.

Еникеев Б.Н. Удельное электрическое сопротивление трещинного коллектора. М.: Экспресс-информация. серия : “Геология и разведка газовых, газоконденсатных и морских нефтяных месторождений” М.: 1983 Вып.10. стр.16-18

Еникеев Б.Н., Кашик А.С., Чукина Л.В., Чуринова И.М. Оценка коллекторских свойств пласта путем настройки и решения систем петрофизических уравнений на ЭВМ. М.: ВНИИОЭНГ, 1985 (Обзорная информация, сер. Нефтегазовая геология и геофизика, Вып. 7(80)).

Еникеев Б.Н., Еникеева С.Н. Математические методы системного анализа эволюции физико-химических свойств терригенной толщи на примере пород неокома месторождений Западной Сибири.// Подземные воды и эволюция литосферы т.II Москва Наука 1985 стр.84-86.

Еникеев Б.Н. Петрофизические модели полимиктовых горных пород. Математические модели горных пород и расчета их эффективных свойств. М: МОИП Наука 1986 стр. 65-80.

Еникеев Б.Н. О некоторых функциональных соотношениях применяемых в петрофизике. Математические модели горных пород и расчета их эффективных свойств. М: МОИП Наука 1986 стр. 90-103.

Еникеев Б.Н. Математические методы расчета эффективных физических свойств горных пород (модель решетки капилляров). Исследования и разработки в области нефтяной геофизики в странах - членах СЭВ. т.2 Москва 1988 стр.308-316.

Ну и (само собой) – моя диссертация, многое из которой вошло и в книгу:

Элланский М.М., Еникеев Б.Н. Использование многомерных связей в нефтегазовой геологии М Недр. 1991.

Решил выложить, чтобы проще ссылаться.

Кстати, про еще одну статью Rother, K. На сходную тему я узнал совсем недавно и случайно

Rother, K. Über die Lösung einer Funktionalgleichung aus der Theorie der Mischkörper. (German) Monatshefte f. Math. 40, 59-64. Published: 1933

Ссылки на последующие публикации авторов в развитие темы степенных средних и их применения можно найти по адресам

<http://petrophysics.borda.ru>

<http://www.petrogloss.narod.ru>

<http://www.mmell.narod.ru>

20- 08- 2008