



ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ЛИТОГЕНЕЗА: ЛЕКЦИЯ НА ВИНОГРАДОВСКИХ ЧТЕНИЯХ В МГУ

В занимающей два этажа и такой памятной мне 611-й аудитории геологического факультета МГУ 2-го декабря состоялись традиционные, 23 Виноградовские чтения, посвященные 115 годовщине со дня рождения основателя кафедры геохимии — академика Александра Павловича Виноградова. Чтения представляют собой лекцию одного из «знаменитых» выпускников кафедры геохимии. Например, среди предшествующих лекторов были академики В. С. Урусов и Д. И. Рябчиков, член-кор. РАН С. М. Стишов (тот самый автор стишовита — открытия, которому скоро исполнится 50 лет) и ряд других видных ученых.

В этом году честь прочтения виноградовской лекции была оказана нашему институту в лице выпускника кафедры-1959; я выбрал для лекции тему «Геохимические индикаторы литогенеза», поскольку в этом году этот курс был уже успешно «апробирован» на Третьем мастер-классе в стенах нашего Института [2].

Кафедре мой выбор понравился, и ее энергичный заведующий, профессор Михаил Васильевич Борисов, разослал по Москве довольно много приглашений. На них откликнулись как работающие в Москве выпускники нашего геолфака (среди которых были замечены академики Вадим Урусов, Игорь Рябчиков и Лиля Когарко, профессора Алексей Ярошевский, Юрий Гурский, Дмитрий Гричук, Олег Япаскурт, Вилен Фельдман, Александр Коныхов), так и ряд известных ученых из ГИНа, ГЕОХИ, Ин-та океанологии и Ин-та нефти и газа (Михаил Левитан, Алла Леин, Евгений Романкевич, Георгий Новиков и др.). Высокий научный рейтинг собравшихся свидетельствовал о том, что тема лекции была выбрана удачно.

Между тем моя задача была отнюдь не простой: как за час рассказать содержание 25 лекций, не утомив слушателей обилием информации? Я выбрал форму *презентации курса*, т. е. его *аннотирования*, но отнюдь не реферирования. При этом, чтобы слушатели не заскучали, я постарался в лекцию некоторые лирические отступления, имеющие, впрочем, прямое отношение к теме лекции.

Кафедра геохимии и осадочные породы

Итак, в теме лекции говорится о *литогенезе*, т. е. о процессах образования осадочных пород, а конкретнее — о геохимических методах диагностики таких процессов. Но в те годы, когда я учился на кафедре Александра Павловича Виноградова, такая лекция была бы совершенно немислимой.

— Почему?

— Потому что у нас на кафедре геохимии осадочные породы были не в почете и будущие геохимики ими практически не занимались. Я не упоминаю тем курсовых или дипломных работ по геохимии осадочных пород. Мы занимались гранитами (тогда как раз последним словом геохимической моды было составление поминерального баланса химических элементов в граните — например, баланс свинца). Мы занимались, разумеется, пегматитами, ибо пегматитам была посвящена великая монография Александра Евгеньевича Ферсмана — первого и самого талантливого ученика Вернадского. Мы занимались гидротермальными жилами. На первом курсе я попал в «негры» к Иреку Ганееву (изучавшему редкометалльное месторождение Кара-Оба в Казахстане) и долгими часами истирал в агатовой ступке полевой шпат из караобинской жилы. Мы занимались и метаморфическими породами. Например, дипломная работа нынешнего академика Игоря Рябчикова была посвящена редким щелочам в архейских метаморфитах из Чуфы в Карелии. **Что же касается осадочных пород, то в нашем, так сказать, «массовом сознании» существовало некое презрение к этому объекту.**

— Да что это за породы такие?

— Какой-то «нанос», в котором нет никаких строгих закономерностей, тем более по контрасту с физико-химической петрологией изверженных пород — того, что теперь принято называть «физической геохимией».

Это презрение к осадочным породам очень укоренилось в сознании многих наших выпускников. Так, в декабре 1984 г. в Роновской лаборатории ГЕОХИ после моей докторской защиты ко мне с мензуркой с шампанским

подошла Таня Сушевская и спросила: «Яшка! Ну уж мне-то не ври: скажи честно, как ты можешь заниматься этой ерундой?» Ибо сама-то Таня занималась (и занимается) благородным делом — микрохимическим анализом флюидных включений в минералах. Вот это — ГЕОХИМИЯ, а не какие-то там осадочные породы...

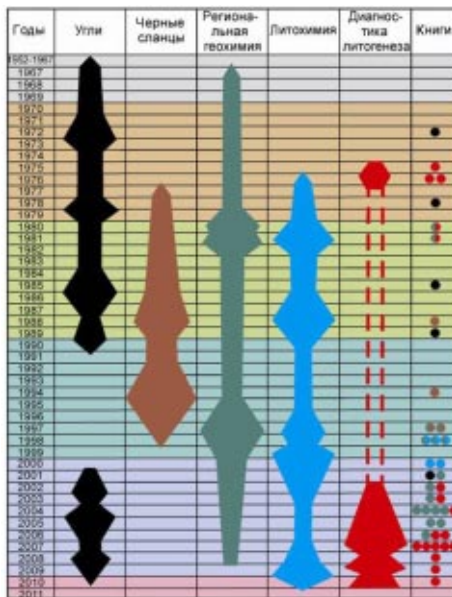
Вот поэтому годы спустя мне было очень приятно услышать от профессора Льва Васильевича Махлаева крайне лестную оценку разработанной нами ЛИТОХИМИИ (т. е. петрохимии осадочных пород): он сказал мне, что найденные нами *эмпирические закономерности* литохимии (это излюбленный термин Вернадского!) — даже более строгие, нежели в петрологии! Может быть, это было сказано чересчур сильно — но все равно приятно.

Пять научных направлений за 50 лет академической работы

На рис. 1 показаны наши занятия в масштабе времени — за 40 с лишним лет работы в Сыктывкарском институте геологии. Стрела времени здесь направлена сверху вниз.

Первой вехой на этой картинке является 1967 г. — когда я, отработав пять лет на производстве, приехал в Сыктывкар и поступил в должности м. н. с. в Институт геологии тогдашнего Коми филиала АН СССР. Не будь этого судьбоносного решения (я ведь уехал из Ленинграда, где мне предлагали после окончания аспирантуры неплохую работу во ВСЕГЕИ) — мне бы, я в этом уверен, не о чем было рассказывать. Ибо в филиалах АН СССР существовали самые лучшие (по тем временам) условия для научной работы. Жители Московского мегаполиса это могут оценить: первые 27 лет я жил вообще во дворе своего Института геологии, последующие 15 лет до работы мне было всего 7 минут ходу и, наконец, уже в третьем миллениуме, меня от работы отделяют 25 минут ходу. В таких сказочно-прекрасных условиях — еще бы не работать!

Как видно на рис. 1, разрабатывались пять крупных проблем, пять направлений.



Мини-заметки на протяжении decades, а точнее – занятия в Академии наук в Сыктывкаре с 1967 г. по настоящее время

Рис. 1. Пять научных направлений (слева) и «Минеральные индикаторы литогенеза», награжденные бронзовой медалью РМО (справа)



ним порядком в структуре. Ибо минералоиды в высшей степени характерны именно для биосферы.

Особенно «возмутительно» ведут себя изотопные индикаторы! Возьмем, например, изотопы карбонатного углерода, а именно знаменитую величину $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$, ‰. Геохимик, разумеется, считает его своим родным инструментом. Однако минералог возразит, что это никакая не геохимия, а минералогия — например, характеристика генотипов минерала кальцита. В одних кальцитах больше тяжелого изотопа ^{13}C , в других — меньше, т. е. для минералога изотопный состав является ничем иным, как характеристикой так называемой *конституции минералов*.

Итак, занимаясь геохимической диагностикой, но постоянно имея дело с минералами-индикаторами, мы ПРОСТО НЕ ЗНАЛИ — ЧТО С НИМИ ДЕЛАТЬ? И вот, чтобы раз и навсегда «освободиться» от минералогии, мы решили (как когда-то российские футуристы, призывавшие в начале 20-го века — «сбросить Пушкина с парохода современности») **сбросить минералогию с атомохода геохимии** и собрали все минералогические данные в книжку «Минеральные индикаторы литогенеза» (2008), чтобы после этого вздохнуть свободно — занимаясь только «чистой геохимией».

Но оказалось, что этот «жест отчаяния» оказался очень ко двору литологам (в особенности — нефтяникам), минералам и геохимикам, о чем можно судить по востребованности этой книги. А Российское минералогическое общество в этом году даже наградило нас бронзовой медалью в номинации «Персональный вклад в создание или развитие научного направления». В данном случае научным направлением является *генетическая минералогия осадочных толщ*. В университетской аудитории было уместно напомнить, что одним из отцов-основателей и признанным лидером этого направления является, как известно, профессор Олег Васильевич Япаскурт.

Концептуальный стержень курса — факторная схема седиментогенеза

На рис. 2 показана составленная нами еще около 30 лет назад **факторная схема литогенеза**, притом не всего литогенеза (для этого потребовалось бы три измерения), а только его части — седиментогенеза.

Геохимия угля очень долго была самостоятельным направлением, не связанным с выполняемыми нами в институте темами и только в начале 21 в. стала наконец включаться в институтскую тематику. Зато все остальные направления органично вырастали из нашего постоянного занятия, за которое мы и получали зарплату — а именно из РЕГИОНАЛЬНОЙ ГЕОХИМИИ СЕВЕРА УРАЛА.

Именно в лоне региональной геохимии, на материалах, добытых в трех десятках тяжелых экспедиций на Урал и Пай-Хой (в том, что было квалифицировано в 1984 г. в ГЕОХИ АН СССР как *новое научное направление*), и зародились три остальных как бы глобальных (отнюдь не региональных!) направления — и геохимия черных сланцев, и литохимия, и диагностика литогенеза. Как видно на этой схеме, они шли бок о бок с питавшей их региональной геохимией, то усиливаясь, то затухая и временно уходя в тень. Тема данной лекции — это последняя колонка; именно этим мы плотно заняты последние три-четыре года (но материалы копили, почти без преувеличения можно сказать, «всю жизнь»).

Сбросить минералогию с атомохода геохимии?!

Прежде чем аннотировать содержимое курса «Геохимические индикаторы литогенеза», мне пришлось рассказать о проблеме минеральных индикаторов. Дело в том, что такие индикаторы постоянно «путаются под

ногами». Говорим ли мы об индикации петрофонда, климатических обстановок, разнообразных обстановок седиментации (осадочных фаций), или об индикации процессов диагенеза, катагенеза — **мы никак не можем обойтись без индикаторных минералов!** Действительно, по тяжелым акцессорным минералам распознают характерный петрофонд в источниках сноса; карбонаты, кремни, смектиты, соли позволяют распознать аридный климат выветривания, а каолинит — гумидный; некоторые водные минералы образуются только в холодных водах, железомарганцевые конкреции и барит могут сформироваться только в окислительной среде седиментации и/или диагенеза, а сульфиды и сидерит — в восстановительной; гидрослюдицизация смектитов отражает повышение температуры и давления в катагенезе и т. д. **Таким образом, почти везде наряду с содержаниями химических элементов, изотопов и их соотношений постоянно «путаются» их соединения с дальним порядком в кристаллической структуре, т. е. минералы.** Более того, ныне почти забытые «геохимические фации» Л. В. Пустовалова и Г. И. Теодоровича — они ведь тоже выделялись исключительно **по характерным парагенезисам аутигенных минералов!** А еще приходится иметь в виду не только минералы, но и, столь любимые академиком Николаем Павловичем Юшкиным, так называемые **минералоиды** — вещества аморфные или только с ближ-

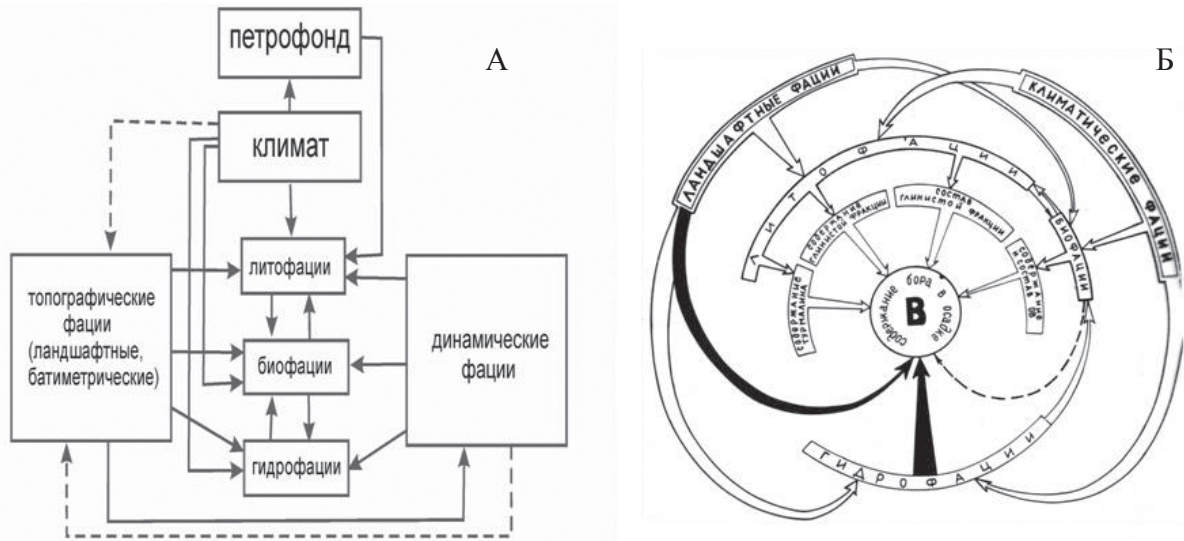


Рис. 2. Факторная схема седиментогенеза (А) и пример диагностики палеосолености по содержаниям бора в глинистых породах (Б)

Эта схема специально приспособлена к задачам геохимической диагностики; особое внимание следует обратить на ее иерархическое строение. Дело в том, что без ясного понимания этой иерархии никакая осмысленная процедура геохимической диагностики невозможна — мы будем работать вслепую и лишь случайно добиваться успеха.

Как видим, седиментогенез — это сложная природная система, где есть и относительно независимые факторы (петрофонд, климат) и очень сильно зависящие от них обстановки седиментации — **осадочные фации** (рис. 2, А). При этом некоторые фации тоже относительно независимы от других (топо- и динамофации), а другие, наоборот, очень сильно от них зависят (лито-, гидро- и биофации). Сильнее всего нагружены корреляционными связями биофации, ибо биота в процессе своей эволюции должна была приспосабливаться к абиотическим условиям среды.

Диагностика гидрофаций на примере бора

О реальных геохимических системах можно судить, например, по факторной схеме геохимии бора в осадочном процессе [3, 4] (рис. 2, Б). Литологи хорошо знают, что бор является популярным геохимическим индикатором — содержания бора в глинистых породах используются **в качестве индикатора солености палеобассейнов**. Эта идея восходит еще к Гольдшмидту и основана на том, что концентрация бора в морской воде на два порядка выше, чем в пресной.

Как видно на схеме, содержание бора в породе непосредственно (напрямую — выделено черным) корре-

лируется только с топографическими (батиметрическими) фациями и гидрофациями. Из первых действует **скорость седиментации**, а из вторых — та самая **соленость**. Не исключается также (пунктир на схеме) прямое влияние биофаций, т. е., в терминах Вернадского, *концентрационной функции* [1] породообразующих организмов. **Все остальные связи содержаний бора с фациальной обстановкой седиментации только косвенные — через вещественный состав осадков и вод.**

Например, влияние климата может проявиться через «буферные» промежуточные фации (гидро-, лито- и биофации). В частности, в условиях аридного климата в области сноса возможно формирование тонких пленок $Mg(OH)_2$ на поверхности магнезиальных силикатов и сорбция этими пленками бора, а затем водная сортировка этих продуктов и попадание их в песчано-глинистые отложения. Конкретный облик получающейся породы будет определяться литофацией. Таким образом здесь имеется причинно-следственная цепочка *климатические обстановки* ⇒ *литофации* ⇒ *содержание бора*.

Но поскольку климат отчасти может контролировать биопродукцию бассейна седиментации, способную поглощать бор при жизни или захватывать его после своего отмирания (так называемая *барьерная функция* органического вещества [6]), то появляется связь содержания бора с **биофациями**. Конкретно состав и количество бороносного ОВ, захороненного в осадке, определяются био- и литофациями, поэтому здесь возникает цепочка *климатичес-*

кие обстановки ⇒ *литофации* + *биофации* ⇒ *содержание бора*.

И, наконец, климат во многом определяет состав вод континента (но практически не влияет на состав морских вод), некоторые из них сильно обогащены бором (в эвапоритовых фациях). Конкретно концентрация бора и химический состав воды определяются **гидрофацией**. Здесь образуется цепочка *климатические обстановки* ⇒ *континентальные гидрофации* ⇒ *содержание сорбированного бора*.

Выявление действия интересующего нас фактора (гидрофации, т. е. солености палеобассейна) в условиях реально многофакторных природных систем возможно двумя путями — либо путем фиксации всех факторов, кроме изучаемого — т. е. «при прочих равных условиях», либо путем факторного анализа. Геологи чаще шли по первому пути.

Можно себе наглядно представить себе эту концептуальную схему в виде *механической модели*. В центре укреплен циферблат со стрелкой, а к нему ведут многочисленные веревочки, проволочки и пружинки, моделирующие связи разной силы (жесткости). По сторонам из модели торчат ручки, за которые можно тянуть. Подходим к модели, хватаемся за ручку и тянем ... а стрелка в центре не колеблется: *бор не реагирует!* Это потому, что усилие амортизируется промежуточными веревочками и пружинками — эффекта не возникает. И только если мы случайно потянем за эти две *черные ручки* (прямые связи!) — стрелка бора заметно качнется! Так вот, чтобы действовать не вслепую, а осмысленно — т. е. ПОНИМАТЬ, когда мы получим результат, а



Рис. 3. Марина Петровна Кетрис в «Каменном лесу». Болгария, сентябрь 2008 г.

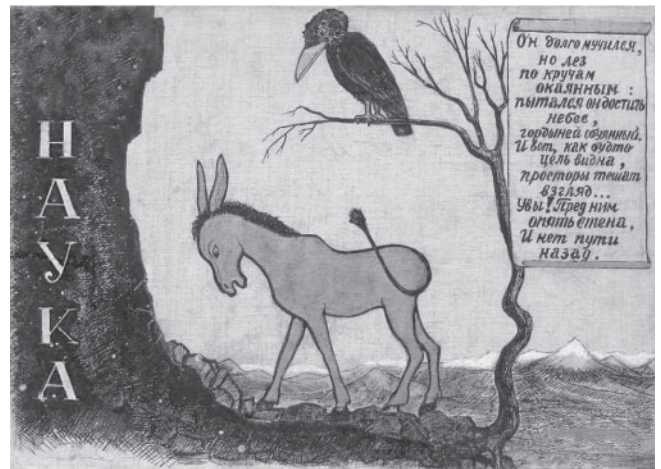


Рис. 4. Пред ним опять стена, и нет пути назад

когда нет — и нужно такого рода теоретизирование, несмотря на его примитивность. И сколько раз бывало так, что литолог, потянув не за ту ручку, заявлял, что ему «геохимия ничего не дала», уподобляясь Мартышке с очками.

Флюидный литогенез

Аннотировав содержание 24 лекций (естественным образом группирующихся в пять крупных тематических блоков — петрофонд, климат, фации, диагенез и катагенез), я задержал внимание слушателей на стоящую особняком лекцию 25: она посвящена новой теме, еще не рассматривавшейся в учебных посо-

биях и потому мало знакомой читателю, — так называемому *флюидному литогенезу*. Под этим понятием объединяются процессы седиментации, диагенеза и катагенеза, происходящие под влиянием разгрузки глубинных флюидов, как холодных, так и термальных. Продукты такого литогенеза отличаются большим своеобразием, но лишь сравнительно недавно стали интенсивно изучаться. В качестве эффектного примера флюидного литогенеза приведен болгарский геологический феномен «Каменный лес» в эоценовых отложениях — в районе г. Варны.

Лишь недавно удалось доказать, что этот знаменитый туристический

объект — никакой не лес, а одно из проявлений флюидного литогенеза, ибо эти вертикальные стволы представляют собой полые трубы, стенки которых сложены метаногенным кальцитом с очень легким изотопным составом углерода! [5].

«... Пред ним опять стена, и нет пути назад»

Хотя нам кажется, что за 50 лет академической работы сделано много, в действительности сделанное показывает лишь СТЕПЕНЬ НАШЕГО НЕЗНАНИЯ — ибо не знаем мы неизмеримо больше, чем знаем, что с удивлением осознал и ослик на рис. 4.

После лекции на кафедре геохимии состоялось дружеское чаепитие геохимиков и примкнувших к ним лиц, а некоторые из участников сфотографировались перед дверями кафедры, рядом с которой теперь висит мемориальная доска Александра Павловича Виноградова — рис. 5.

Литература

1. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. 2-е изд. М.: Наука, 1987. 339 с.
2. Льюров С. В. Мастер-классы профессора Юдовича // Вестник Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН, 2010. № 4. С. 9—10.
3. Юдович Я. Э. Курс геохимии осадочных пород (избранные главы): Учебное пособие. Сыктывкар: СыктГУ, 2001. 284 с.
4. Юдович Я. Э. Региональная геохимия осадочных толщ. Л.: Наука, 1981. 276 с.
5. Юдович Я. Э., Ветошкина О. С., Кетрис М. П. Болгарский геологический феномен // Вестник Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН, 2009. № 2. С. 12—15.
6. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Геохимия черных сланцев. Л.: Наука, 1988. 272 с.

Д. г.-м. н. Я. Э. Юдович



Рис. 5. У дверей кафедры геохимии, 2 декабря 2010 г.

Слева направо: Кетрис Марина Петровна, Солопова Екатерина Александровна (инженер кафедры); Бычков Андрей Юрьевич (доцент, зам. зав. кафедрой); Юдович Яков Эльевич; Борисов Михаил Васильевич; Алёхин Юрий Викторович (к. г.-м. н., зав. лаб. экспериментальной геохимии); Гричук Дмитрий Владимирович (профессор кафедры); Шевченко Владимир Петрович (к. г.-м. н., Институт океанологии РАН, выпускник кафедры); Новиков Георгий Валентинович (д. г.-м. н., ИО РАН); Гурский Юрий Николаевич (д. г.-м. н., с. н. с. кафедры)