

# Преобразование вендских толщ и проблема чистых образцов

М.Б.Бурзин, В.И.Виноградов

Одна из проблем, с которой сталкиваются все исследователи геологического прошлого Земли, — проблема чистоты отбираемого в полевых условиях материала. Палинологи и микропалеонтологи при работе на обнажениях углубляются на десятки сантиметров или даже на метр, расчищая рыхлые, трещиноватые и выветренные породы не только для того, чтобы избавиться от современных засорений, но и для того, чтобы получить образцы, не испытавшие окисления. Как же надо отбирать пробы для изучения остатков ископаемых бактерий [1] или экстрагирования из пород хемофоссилий — органических соединений, позволяющих выявить биомаркеры [2], которые свидетельствуют о существовании представителей определенных систематических групп организмов или физиологических процессов? Ответ на этот вопрос дают изотопно-геохимические исследования Rb-Sr методом глинистых минералов верхневендских отложений Русской плиты.

Часто ни макроскопический осмотр образцов, ни изучение шлифов не позволяют установить, испытали ли горные породы вторичные изменения или



**Михаил Борисович Бурзин**, научный сотрудник лаборатории докембрийских организмов Палеонтологического института РАН. Области научных интересов — палеонтология докембрия, стратиграфия венда Русской плиты. Первым обнаружил ископаемые остатки древнейших водных грибов и нитчатых серных бактерий в верхневендских отложениях Русской плиты. Соавтор стратиграфической схемы вендских отложений Московской синеклизы. Постоянный автор «Природы».



**Владимир Иванович Виноградов**, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории геохимии и геохронологии изотопов Геологического института РАН. Области научных интересов — геохимия изотопов, эпигенез осадочных пород, геохимические и биосферные циклы элементов, проблемы формирования континентальной коры. Первым установил участие серы осадочного цикла в вулканических, магматических и рудообразующих процессах.

сохранились практически неизменными. В осадочных породах, особенно в наиболее химически реакционных глинистых и карбонатных, происходят процессы вторичного преоб-

ращения вещества, которые обычно называются общим термином эпигенез. Они могут быть как медленными в масштабах геологического времени, так и внезапными. Минераль-

ное или химическое преобразование пород сопровождается перестройкой изотопных систем. При активных и кратковременных событиях, связанных с геохимическим изменением вещества, «изотопные часы» каждый раз устанавливаются на нулевую отметку.

Наш (и многих других исследователей) интерес к вендскому периоду в истории Земли (согласно современной геохронологии [3], возрастные рамки венда — 535–600 млн лет) вызван тем, что это — время перехода от докембрийского квазистабильного состояния биосферы к динамичному развитию фанерозойской биосферы, в которой биоразнообразие существенно возросло. С вендом (а также с более древними рифейскими отложениями) связывают перспективы открытия залежей углеводородов в центральных районах Русской плиты. В породах венда продолжается поиск молекулярных свидетельств жизнедеятельности одноклеточных и бесскелетных организмов, плохо представленных в ископаемой летописи.

На Русской плите развиты мощные, хорошо изученные и стратифицированные осадочные толщи вендских отложений, большая часть которых располагается на глубинах 1–3 км. Их выходы на поверхность фиксируются на восточных берегах Белого и Балтийского морей, западном склоне Среднего Урала и в долине р.Днестр на Украине. Вендские осадочные породы выглядят на удивление свежими. Поэтому мы провели тщательное изотопно-геохимическое изучение вендских глинистых пород, чтобы выявить наименее измененные части разреза, пригодные для дальнейших детальных исследований. Прежде чем приступить к изложению наших результатов, дадим общую геологическую характеристику венда Русской плиты, поскольку не все знакомы с этим интереснейшим объектом.

## Венд Русской плиты

Вендские отложения на Русской плите образуют нижнюю часть осадочного чехла, занимая от одной десятой до более двух третей его мощности. Они залегают на породах кристаллического фундамента, а над авлакогенами перекрывают осадочные породы рифейского возраста.

Отложения нижнего венда развиты локально на западном и восточном краях платформы и над некоторыми грабенами. Они представлены [4] ледниковыми, вулканогенно-осадочными и морскими осадочными толщами.

Верхний венд образует осадочный чехол мощностью от 100 м (на северо-западе и западе плиты) до 1200 м (на северо-востоке и востоке). Выделены [4] три горизонта (региональных яруса) верхнего венда: редкинский, котлинский и ровенский. (Согласно решениям Межведомственной стратиграфической комиссии России, ровенский горизонт относится к венду, а в соответствии с Международной стратиграфической шкалой, возможно, — к кембрию.)

Верхний венд начинают с грубых, иногда плохо сортированных, отложений, которые рассматривают как продукты выравнивания предверхневендского рельефа непосредственно перед началом редкинской морской трансгрессии [4]. Именно в этих отложениях, в области их развития над Даниловским грабеном, в Московской синеклизе встречены нефтепроявления [5, 6].

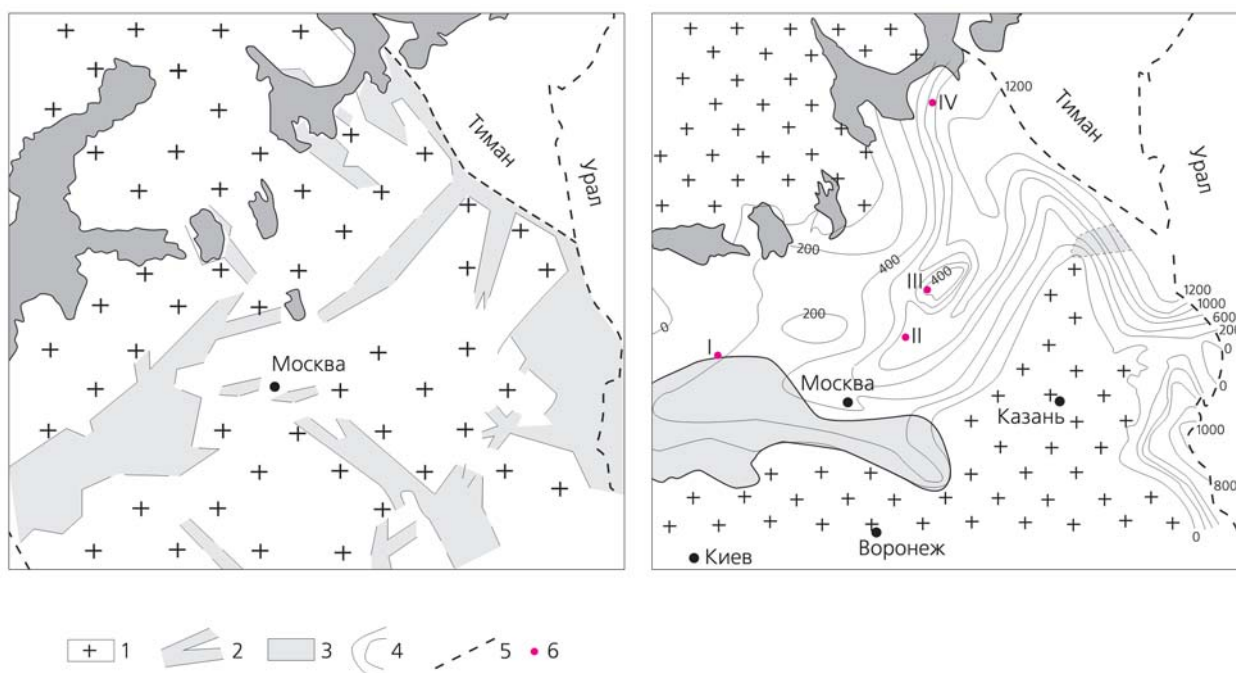
Вендские отложения Русской плиты воздымались и были частично срезаны эрозией в предсреднекембрийское время. Наиболее же сильно эрозия проявилась в предсреднедевонское время, когда произошла перестройка структурного плана всей платформы и на значительной площади плиты частично или полностью были срезаны вендские и нижнепалеозойские отложения. В ряде скважин из узких поднятий над Солигалич-

ским и Рослятинским грабенами Средне-Русского авлакогена средний девон лежит прямо на редкинских отложениях или даже на их нижней части. Образование поднятий связывают с инверсионными тектоническими движениями в герцинское время. На краях же грабенов и вне их — в пределах Галичской впадины и Грязовецко-Тарногского прогиба — разрез верхнего венда и нижнего палеозоя полностью сохраняется. В северной части Мезенской синеклизы девонские отложения отсутствуют, венд перекрыт каменноугольными отложениями, а на погруженном борту Балтийского щита — четвертичными.

## Чем определялся выбор материала

Отложения верхнего венда Русской плиты выбраны для изотопных исследований эпигенетических преобразований горных пород потому, что они слабо затронуты катагенетическими преобразованиями. Глины из скважин с глубин от нескольких сотен метров и до нескольких километров размокают в воде, и из них только с помощью дистиллированной воды прекрасно выделяются органикостенные микрофоссилии, остатки макроскопических водорослей. Такой материал наиболее подходит для биохимических исследований ископаемого органического вещества. Кроме того, вендские толщи подробно стратифицированы [7] и детально исследованы.

Для изотопно-геохимического изучения отобраны образцы из коллекции М.Б.Бурзина наиболее тонких глинистых пород из наиболее стратиграфически важных скважин. Так, Невельская опорная скважина №1-Р (запад Русской плиты, зона перехода от Валдайской моноклинали Московской синеклизы к Латвийской седловине) в 1962 г. была выбрана в качестве типовой для валдайского комплекса — исторического предшест-



Структуры Восточно-Европейской платформы: слева — рифейские, справа — вендские [4].  
 1 — кристаллические щиты и массивы, 2 — рифейские авлакогены и грабены, 3 — отложения нижнего венда, 4 — изопохиты верхневендских отложений, 5 — границы платформы; 6 — скважины: I — Невель, II — Гаврилов-Ям, III — Солигалич, IV — Кепина.

венника вендской системы. Скважины Гаврилов-Ямского полигона (Галичская впадина в центральной части Московской синеклизы, примерно в 100 км к югу от рифейского Даниловского грабена Средне-Русского авлакогена) и Солигаличская нефтеразведочная опорная скважина №Р-1 (северо-восток Московской синеклизы, над рифейским Солигаличским грабеном) являлись опорными при создании стратиграфической схемы вендских отложений Московской синеклизы [7]. Скважина Кепина №775 (зона перехода от Мезенской синеклизы к погруженному восточному склону Балтийского щита, над Товским выступом фундамента, разделяющим рифейские Керецко-Среднепинежский и Тучкинский грабены) служила опорной при составлении проекта новой стратиграфической схемы вендских отложений Мезенской синеклизы [8].

Выбранные скважины характеризуют разные тектонические

зоны Русской плиты, различные типы разрезов венда и имеют неодинаковую стратиграфическую полноту.

### Rb-Sr изотопно-геохимический метод

Этот метод был основным в наших исследованиях. Рубидий — щелочной металл I группы периодической системы элементов. Один из его изотопов —  $^{87}\text{Rb}$  — радиоактивен: теряя  $\beta$ -частицу, он переходит в  $^{87}\text{Sr}$ . Постоянная радиоактивного распада очень мала, так что за все время существования нашей планеты распалось только около 5% исходного количества  $^{87}\text{Rb}$ . Тем не менее современные аналитические методы позволяют точно измерять количество накопленного в породах продукта радиоактивного распада ( $^{87}\text{Sr}$ ) и рассчитать время, за которое он накопился [9]. Реально измеряются не абсолютные содержа-

ния изотопов рубидия и стронция, а их изотопные отношения  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  и  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . При этом  $^{86}\text{Sr}$  — стабильный изотоп, содержание которого остается постоянным со времени окончания процессов нуклеосинтеза и формирования планеты. В изотопном составе стронция протопланетного вещества сохранилось некоторое количество и  $^{87}\text{Sr}$ , что учитывается при расчетах возраста земных объектов. Если бы на Земле не происходило геохимических процессов миграции атомов, то (наряду со многими другими бедями) Rb-Sr системы в каждом образце содержали бы информацию о времени образования планеты. По счастью (по крайней мере, так кажется многим), на Земле изменяется и обменивается веществом с окружающей средой не только живая, органическая материя, но и косная, каменная. Некоторые геохимические процессы, с участием в том числе и элементов II, щелочно-

земельной, группы (к которой относится Sr), приводят к выравниванию в минералах, слагающих горные породы, изотопного отношения стронция. И Rb-Sr часы устанавливаются на новую нулевую отметку. Указанием на предысторию вещества после «перезагрузки» радиометрических часов служит только величина рассчитанного отношения ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>0</sub>, которая возрастает с каждым новым циклом геохимического преобразования.

Для того чтобы найти две неизвестных величины — время и начальное изотопное отношение стронция — нужна система из двух уравнений, т.е. изотопный анализ по крайней мере двух образцов с одинаковыми искомыми величинами. Но для того, чтобы увериться в этой одинаковости, число измеряемых образцов должно быть значительно больше, и чем оно больше, тем достовернее получаемые результаты. Обычно аналитические данные наносятся на график, где по горизонтальной оси располагаются отношения  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ , а по вертикальной —  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Каждый измеренный образец на таком графике представлен точкой. Образцы, которые имеют одинаковый возраст и начальное изотопное отношение, оказываются на одной прямой линии — изохроне. Угол ее наклона есть функция возраста, а ее пересечение с ординатой определяет величину начального отношения. Разработаны специальные приемы расчета точности аппроксимации экспериментальных точек прямой линией. Чем разброс точек относительно прямой меньше, тем надежнее полученные результаты.

По своей природе осадочные породы мало пригодны для изотопного датирования, так как представляют собой механическую смесь продуктов размыва и перетолжения самого различного материала плюс новообразованные минералы, из-за чего важнейшие исходные посылки — разновозрастность слагающих частиц и равенство началь-

ного изотопного отношения стронция — не выдерживаются. Однако метод пригоден для датировки событий геохимического преобразования минералов и пород, при которых происходило выравнивание изотопного отношения стронция.

## Наши результаты

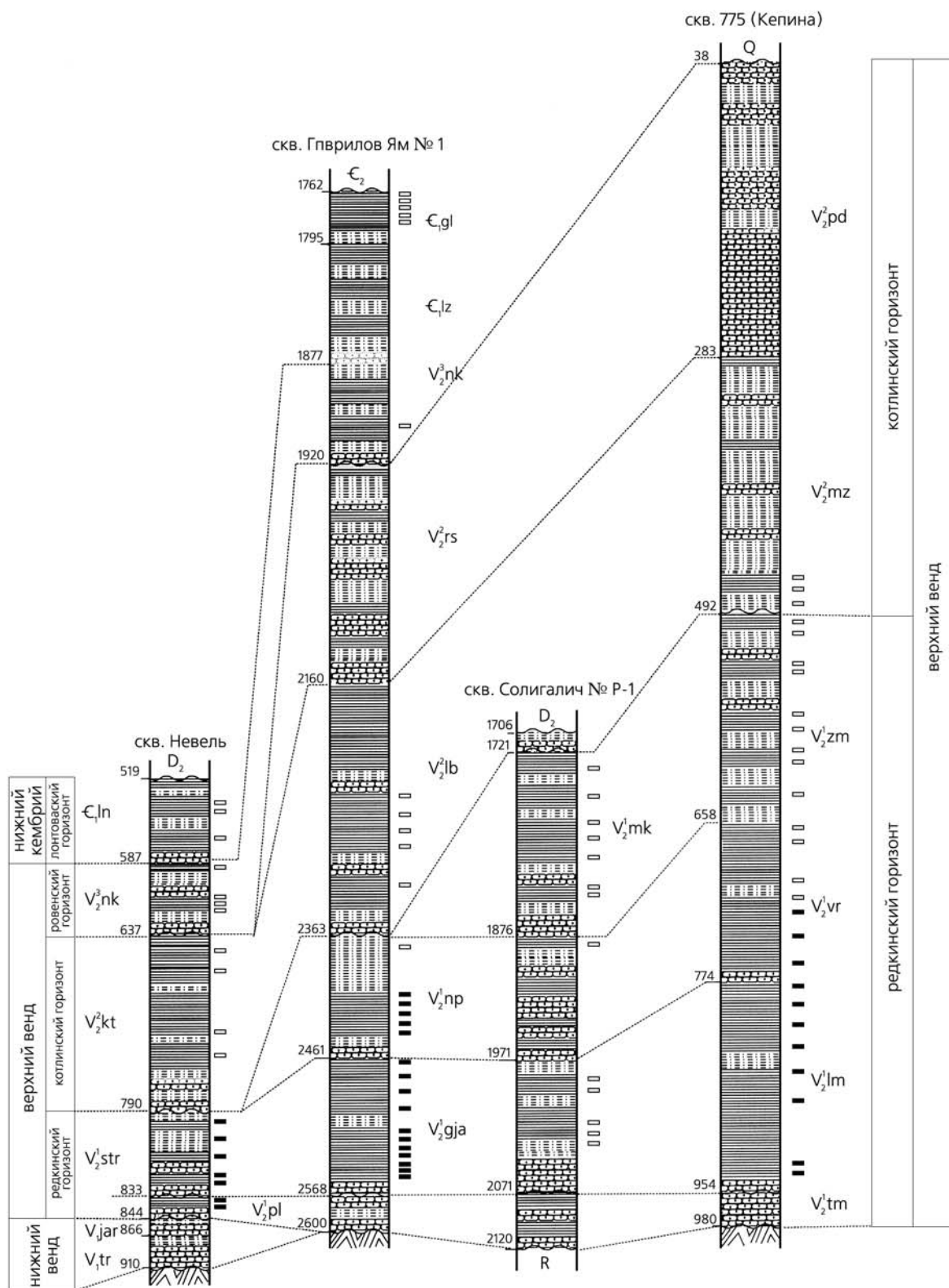
По изотопно-возрастным Rb-Sr датировкам разрезы практически всех изученных нами скважин четко разделяются на две части [10–12]. Так, в Гаврилов-Ямских скважинах глинистые минералы из монотонных аргиллитов гаврилов-ямской свиты и нижней подсвиты непейцинской свиты редкинского горизонта имеют «древний» (близкий к стратиграфическому) изотопный возраст  $600 \pm 50$  млн лет. По видимому, с этим периодом связан один из первых этапов минеральных преобразований осадочной породы. Проведенные измерения изотопного возраста тонких (<1 мкм) и грубых фракций показали, что все линии на графике (валовая проба, тонкая и грубая фракции) практически параллельны, т.е. определяют один и тот же близкий возраст при разных первичных изотопных соотношениях. Это подтверждает реальность рассчитанного возраста — то, что он действительно отвечает некоторому событию в «жизни» пород.

Измерения образцов аргиллитов, развитых в толщах переслаивания верхней подсвиты непейцинской свиты редкинского горизонта, любимской свиты котлинского горизонта, некрасовской свиты ровенского горизонта верхнего венда и галичской свиты лонтоваского горизонта нижнего кембрия, продемонстрировали различный наклон линий на изохронном графике для валовых проб и размерных фракций глинистых пород. Но статистический анализ показал, что эти различия не значимы, и общий разброс точек, видимо, отражает продол-

жительность события. С некоторой долей условности время преобразования верхней части разреза можно оценить в  $400 \pm 50$  млн лет (т.е. это ранний девон).

Таким образом, породы верхней части разреза Гаврилов-Ямских скважин сильнее изменены, чем нижней. Они пережили этап девонского эпигенеза, который не обнаружен в Rb-Sr системах осадков с глубин более 2410 м. Обычно степень изменения пород возрастает с глубиной, здесь же все наоборот. Поэтому могут возникнуть сомнения в правомерности интерпретации изотопных данных. Линейное расположение точек на изохронном графике можно рассматривать, вообще говоря, не как отражение возраста события, а как результат смешения минеральных компонентов осадка. Но каждый из них характеризуется своим временем образования (закрытия Rb-Sr системы) и своим начальным изотопным составом стронция. На изохронном графике такие компоненты лежат на разных концах аппроксимирующей прямой. Если время закрытия системы и начальное отношение ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>0</sub> смешиваемых минеральных компонент совпадают, то прямая называется изохроной или эрохроной. На изохроне образующие ее точки находятся в пределах аналитических ошибок, разброс точек на эрохроне превышает их. И в том и в другом случае наклон линии отвечает возрасту некоего события. Если же время закрытия системы и начальное отношение изотопов стронция смешиваемых компонент не совпадает, прямая называется псевдохроной, а рассчитанный по ее наклону возраст будет фиктивным.

В нашем материале такими конечными компонентами смеси могли бы быть аутигенный (образованный на месте) иллит и обломочный полевоид шпат. Присутствие этих минералов (в осадке глинистой размерности) четко фиксируется на рентгенограммах, но происхождение



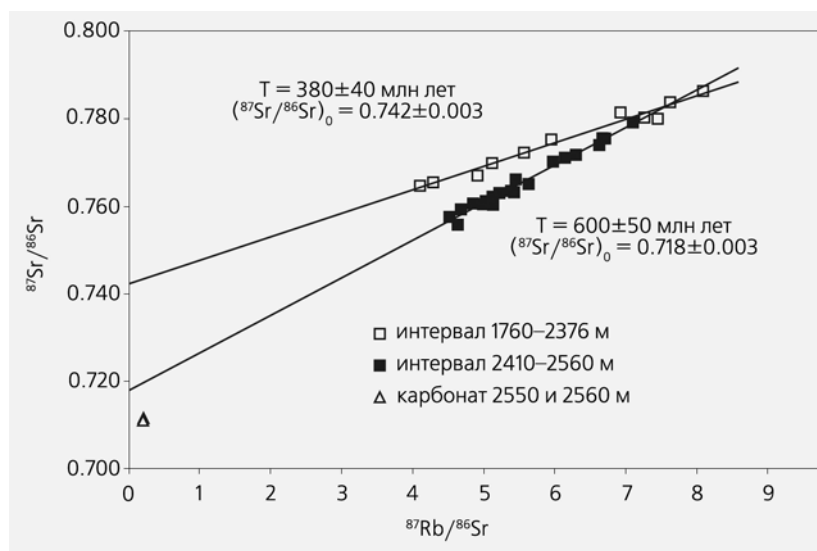
- Песчаники и толщи переслаивания с преобладанием песчаников
- Алевролиты и толщи переслаивания с преобладанием алевролитов
- Аргиллиты и толщи переслаивания с преобладанием аргиллитов
- Породы кристаллического фундамента

- Пробы:
- «древние»
- «молодые»

полевого шпата — образован ли он на месте или принесен извне — установить трудно. Однако получение практически параллельных линий по фракциям и валовым пробам глинистых пород снимает вопрос о смешении разновозрастных минералов. Кроме того, следует учитывать и то, что точки, образующие «молодую» линию, получены с проб, взятых с большого интервала глубин. Кажется совершенно невероятным присутствие аутигенной и аллотигенной (принесенной извне) идентичных по Rb-Sr характеристике минеральных фаз в 650-метровой толще платформенных осадков. Поэтому мы полагаем, что время около 400 млн лет действительно отражает реальный этап преобразования пород верхнего венда. Он отвечает важнейшему в геологической истории планеты герцинскому этапу орогенеза.

В разрезе скважины Невель глинистые минералы старорусской свиты редкинского горизонта имеют относительно низкие Rb-Sr отношения, точки которых занимают на изохронном графике положение вблизи эрохроны «древних» гаврилов-ямских проб. Глинистые минералы же котлинской (василеостровской) свиты котлинского горизонта, некрасовской свиты ровенского горизонта верхнего венда и лонтоваской свиты нижнего кембрия характеризуются более высокими Rb-Sr отношениями, точки их на изохронном графике близки к линии «молых» гаврилов-ямских проб.

В разрезе скважины №775 (Кепина) глинистые минералы лямницкой свиты и низов верховской свиты (ниже двух пачек



Изохронный график гаврилов-ямских проб верхнего венда, объединяющий точки с двух интервалов опробования.

туффов, содержащих II пелловый горизонт, разделенных слоями карбонатизированных алевролитов и песчаников) имеют относительно низкие Rb-Sr отношения, точки которых четко располагаются на изохронном графике вдоль эрохроны «древних» гаврилов-ямских проб. Глинистые минералы верхней части верховской свиты и зимнегорской свиты редкинского горизонта и низов мезенской свиты котлинского горизонта верхнего венда характеризуются более высокими Rb-Sr отношениями, и точки на изохронном графике располагаются ближе к эрохроме «молых» гаврилов-ямских проб.

А вот практически по всему изученному разрезу скважины Солигалич глины имеют Rb-Sr изотопно-возрастные датировки,

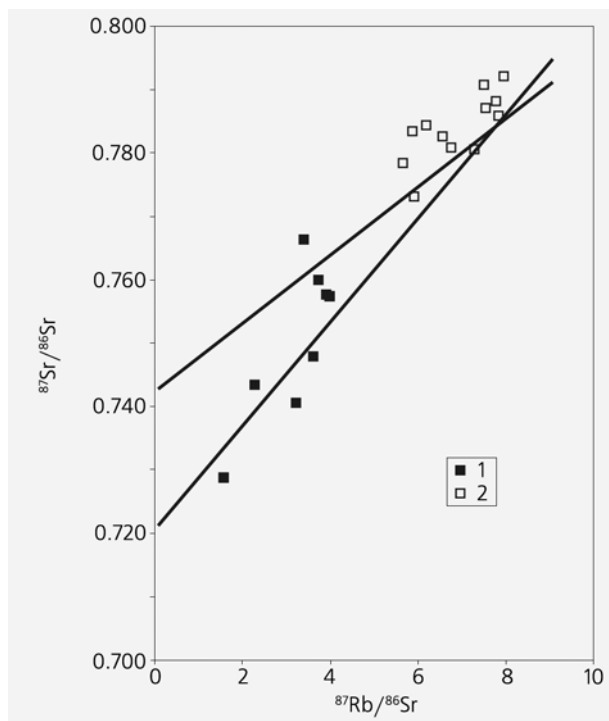
тяготеющие к эрохроме «молых» гаврилов-ямских проб. Выявить же здесь породы верхнего венда с достоверно «древними» датировками нам не удалось.

### Что это значит?

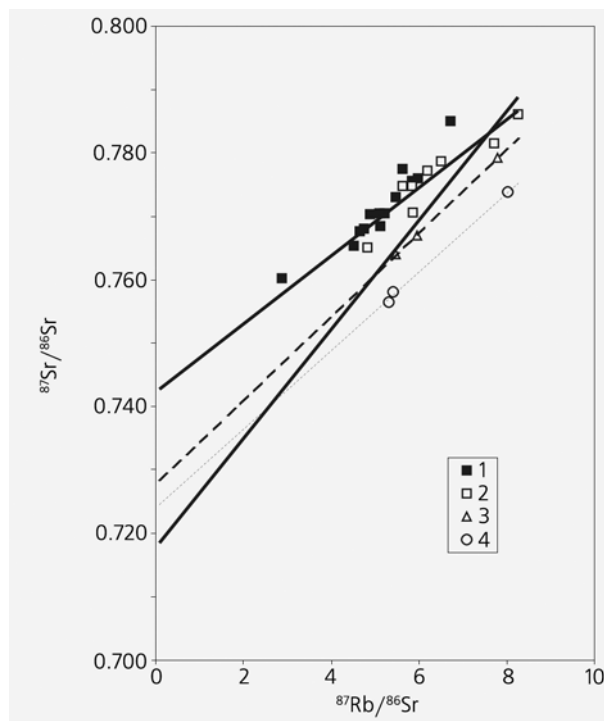
В результате изотопно-геохимических исследований глинистых минералов в разрезе Гаврилов-Ямских скважин выявлены раннедевонские геохимические преобразования древних толщ [10–12], которые затронули отложения лонтоваского горизонта нижнего кембрия, ровенского, котлинского и самой верхней части редкинских горизонтов верхнего венда, а именно верхней подсвиты непейцинской свиты. Не затронутые преобразованиями отложения нижней



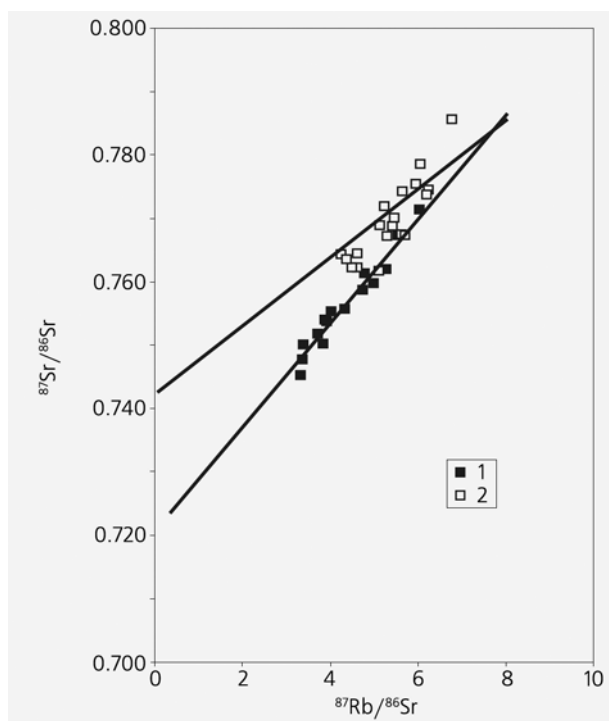
Схема сопоставления разрезов изученных скважин. Разрезы выровнены по подошве отложений редкинкой морской трансгрессии. Стратоны: R — рифей, V<sub>1</sub> — нижний венд, V<sub>2</sub> — верхний венд, V<sub>2</sub><sup>1</sup> — редкинский горизонт, V<sub>2</sub><sup>2</sup> — котлинский горизонт, V<sub>3</sub> — ровенский горизонт, Є<sub>1</sub> — нижний кембрий; свиты: V<sub>2</sub>tr — торопецкая, V<sub>2</sub>jar — ярцевская, V<sub>2</sub>pl — плетневская, V<sub>2</sub>str — старорусская, V<sub>2</sub>kt — котлинская (василеостровская), V<sub>2</sub>nk — некрасовская, Є<sub>1</sub>ln — лонтоваская, V<sub>2</sub>gja — гаврилов-ямская, V<sub>2</sub>np — непейцинская, V<sub>2</sub>mk — макарьевская, V<sub>2</sub>lb — любимская, V<sub>2</sub>rš — решминская, Є<sub>1</sub>lz — лежская, Є<sub>1</sub>gl — галичская, V<sub>2</sub>tm — тамецкая, V<sub>2</sub>lm — лямницкая, V<sub>2</sub>vr — верховская, V<sub>2</sub>zm — зимнегорская, V<sub>2</sub>mz — мезенская, V<sub>2</sub>pd — падунская; перекрывающие отложения: Є<sub>2</sub> — средний кембрий, D<sub>2</sub> — средний девон, Q — четвертичные отложения.



Положение на изохронном графике проб из отложений верхнего венда, вскрытых скважиной Невель: пробы с глубины более 800 м (1) и с глубины менее 765 м (2). Сплошные линии (здесь и далее) — эрохронная зависимость, полученная по материалам Гаврилов-Ямских скважин.



Положение на изохронном графике проб из отложений верхнего венда, вскрытых скважиной Солигалич: валовые пробы (1); размерные фракции и валовые пробы образцов 4925 и 4923 (2); образца 4926 (3); образца 4927 (4). Пунктирные линии аппроксимируют точки размерных фракций и валовых проб образцов.



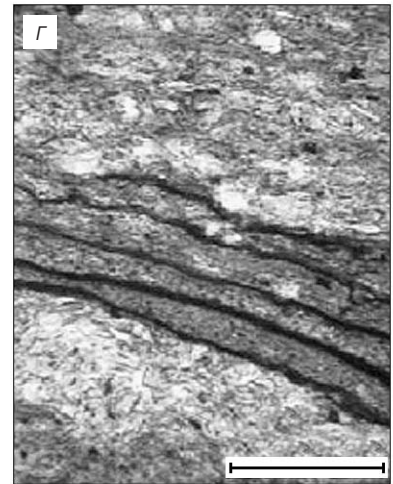
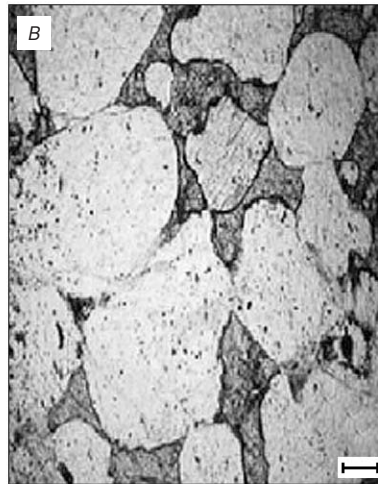
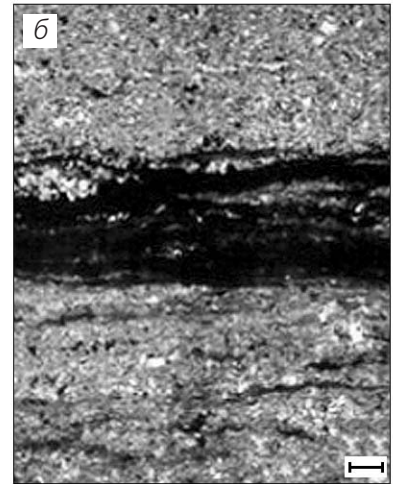
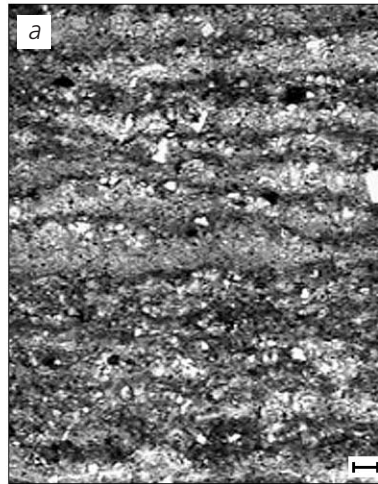
Положение на изохронном графике проб из отложений верхнего венда, вскрытых скважиной Кепина: пробы с глубины более 740 м (1) и с глубины менее 740 м (2).

части редкинского горизонта сложены преимущественно глинистыми отложениями, в составе которых присутствуют монтмориллонит и смешаннослойные минералы [13]. Эти породы служат прекрасным региональным водоупором. Верхняя же подсвита непейцинской свиты сложена аргиллитами и алевролитами, а на этом же уровне в скважине Переславль-Залесский развиты мощные слои песчаников. Все это может свидетельствовать о том, что геохимические преобразования в раннем девоне скорее всего происходили под действием подземных вод, проникавших на глубину по проницаемым пластам.

Такое заключение хорошо подтверждается и результатами изотопно-геохимических исследований разрезов скважин Невель и №775 (Кепина). В скважине Невель неизменными также оказались глинистые отложения старорусской свиты (стратиграфического аналога гаврилов-ямской и, возможно, непейцинской свит). Удивительно, что котлинская свита, представленная преимущественно ленточными глинами, не стала препятствием для проникновения подземных вод. Возможно, последние попадали на глубину по пластам песчаников, залегающим в основании свиты.

В скважине №775 геохимические преобразования не затронули нижнюю часть верховской свиты — стратиграфического аналога непейцинской свиты Московской синеклизы. Преобразованной оказалась большая верхняя часть разреза, сложенная толщами переслаивания.

Исключение, которое представляет собой разрез Солигалич, может быть связано с тем, что скважина расположена в зоне инверсионного поднятия над грабеном, где в предсреднедевонское время произошло срезание почти 750 м нижнепалеозойских и верхневендских отложений. Разломы и флексуры по краям поднятия способствовали миграции подземных вод.



Фотографии шлифов вендских осадочных пород:

а — фоссиллизированный цианобактериальный мат с налипшими песчинками эолового происхождения (гаврилов-ямская свита); б — сезонный слоек, верхняя часть которого (нижняя половина фотографии) обогащена пленками органического вещества (гаврилов-ямская свита); в — песчаники любимской свиты, поровое пространство которых служило водоносом в девоне; г — фоссиллизированный цианобактериальный мат, захороненный в алевролитистых породах (любимская свита). Длина масштабной линейки 100 мкм.

Фото М.Б.Бурзина и В.Н.Родионова

Кроме того, редкинские отложения здесь содержат много мощных пластов песчаников, которые и служили, судя по всему, водоносами.

\* \* \*

Результаты Rb-Sr изотопно-геохимического исследования глин из далеко отстоящих друг от друга скважин разных регио-

нов Русской плиты показывают, что герцинским эпигенезом в той или иной мере были охвачены вендские отложения на всей территории их развития. Такой вывод кажется вполне логичным: отражения герцинских событий на Русской платформе хорошо известны и детально изучены [14]. Однако их влияние на геохимические системы



древних осадочных пород зафиксировано впервые. Это интересно само по себе, но имеющийся материал позволяет проникнуть и в детали механизма геохимических изменений.

Очень важно, что граница геохимических преобразований в верхневендских отложениях не связана с глубиной их залегания, а определяется присутствием непроницаемых глинистых толщ без прослоев неплотных и легко размываемых пород. В разрезе Гаврилов-Ямских скважин глубина, на которую в раннедевонское время проникали подземные воды, составляет почти 950 м (если считать от подошвы отложений среднего девона, начинающих верхнепалеозойский разрез). Воздействие подземных вод на более подвижный стронций привело к перестройке Rb-Sr систем глинистых минералов, что и позволило оп-

ределить время появления «молодого» герцинского события.

Эпигенетическое преобразование подземными водами нижнекембрийских и верхней части верхневендских отложений в раннедевонское время — скорее всего, одна из важнейших причин бесперспективности нижнего палеозоя и венда центральных районов Русской плиты для поисков углеводородного сырья. Учитывая новые данные, можно не только объяснить причины, но и указать граничную глубину бесперспективных толщ.

Вряд ли измененные подземными водами породы могут оказаться пригодными для выделения биомаркеров, а тем более изучения остатков вендских и раннекембрийских бактерий [15]. Хорошо известно, что современная подземная часть биосферы представлена обильными

и разнообразными микроорганизмами, существование которых связано с подземными водами. Микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности могли переноситься подземными потоками в более древние отложения. Не исключено, что и в раннем девоне подземные воды были уже населены микроорганизмами, которые могли существенно повлиять на сохранность и «чистоту» верхневендских и нижнекембрийских ископаемых органических молекул. С развитием методов исследования можно пробовать изучать раннедевонскую подземную биосферу, но не в породах раннего девона (как хочется думать), а в вендских и нижнепалеозойских толщах. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 01-05-64178.**

## Литература

1. Герасименко Л.М., Жегалло Е.А., Жмур С.И. и др. // Палеонтологический журнал. 1999. №4. С.103—125.
2. Журавлев А.Ю. Невидимые миру факты, или «Говорящие» атомы и молекулы в палеонтологии // Природа. 2003. №5. С.43—49.
3. Семихатов М.А. Уточнение оценок изотопного возраста нижних границ верхнего рифея, венда, верхнего кембрия // Дополнения к Стратиграфическому кодексу России. СПб., 2000. С.95—107.
4. Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. Т.2. Стратиграфия и геологические процессы. М., 1985.
5. Федоров Д.Л., Бурзин М.Б., Владимирова Т.В. и др. Тектонические и палеофациальные критерии нефтегазонасыщенности Московско-Мезенской области прогиба // Нефтегазовая геология на рубеже веков. Прогноз, поиски, разведка и освоение месторождений. Т.2. Стратиграфия, общая геология, региональный прогноз. СПб., 1999. С.173—179.
6. Бурзин М.Б. Древнейшие организмы — источник нефти на Русской платформе? // Природа. 1996. №2. С.38—44.
7. Стратиграфическая схема вендских отложений Московской синеклизы. Объяснительная записка. М., 1996.
8. Бурзин М.Б., Кузьменко Ю.Т. Детализация стратиграфической схемы вендских отложений Мезенской синеклизы // Актуальные проблемы геологии горючих ископаемых бассейнов Европейского Севера России. Материалы Всероссийской конференции (26—28 апреля 2000 г., Сыктывкар, Республика Коми). Сыктывкар, 2000. С.39—40.
9. Костицын Ю.А. Накопление редких элементов в гранитах // Природа. 2000. №1. С.21—30.
10. Виноградов В.И., Бурзин М.Б. Эпигенетическое преобразование древних отложений // Природа. 2002. №3. С.81.
11. Виноградов В.И., Буякайте М.И., Муравьев В.И. и др. // Литология и полезные ископаемые. 2002. №5. С.525—534.
12. Виноградов В.И., Головин Д.И., Буякайте М.И., Бурзин М.Б. // Литология и полезные ископаемые. 2003. №2. С.209—214.
13. Пиррус Э.А. Глинистые минералы в вендских и кембрийских породах и их значение для палеогеографии и стратиграфии // Палеогеография и литология венда и кембрия запада Восточно-Европейской платформы. М., 1980. С.97—113.
14. Леонов Ю.Г. Тектоническая природа девонского орогенеза. М., 1976.
15. Федонкин М.А. Крупнейшее местонахождение докембрийской фауны // Природа. 1981. №5. С.94—102.