

## ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

## К 100-ЛЕТИЮ СВЯТОСЛАВА НЕСТОРОВИЧА ИВАНОВА



В этом году исполняется 100 лет со дня рождения члена-корреспондента Российской академии наук Святослава Несторовича Иванова – крупного ученого, известного специалиста в области геологии рудных месторождений, петрологии, тектоники и строения земной коры.

С.Н. Иванов родился 16 февраля 1911 г. в Нижнем Новгороде, в семье санитарного врача и учительницы. Его родители – Нестор Иванович и Валентина Павловна – являлись типичными представителями той части Российской интеллигенции, которая была убеждена в необходимости демократических преобразований в обществе. Активные члены марксистских кружков, а затем и РСДРП, с начала ее возникновения в 1898 г., они участвовали в создании рабочих организаций в различных городах России, подвергались арестам, ссылкам и тюремному заключению (“Наука Урала”, 1987 г., №№ 41–42). В кругу их друзей и соратников по подпольной работе была Л.А. Фотиева (секретарь В.И. Ленина в 1918–1924 гг.), которая и познакомила их в Перми, куда они были высланы за революционную деятельность (Нестор Иванович – из Харькова, а Валентина Павловна – из Петербурга). После гражданской войны Ивановы с тремя детьми переехали в Свердловск. Нестора Ивановича назна-

чили заведующим санитарно-эпидемическим отделом губздрави. Он был организатором и первым руководителем санитарной службы на Советском Урале. Все дети Ивановых выбрали себе профессию геолога. Сначала это сделал старший сын Вадим, награжденный впоследствии Ленинской премией за открытие крупного месторождения цветных металлов в Казахстане, а затем – Святослав и Лия.

В отличие от своих родителей, с юности посвятивших себя политической деятельности, Святослав Несторович стал членом КПСС только на пике своей научной и научно-организационной карьеры, будучи доктором геолого-минералогических наук, профессором, членом-корреспондентом АН СССР, Лауреатом государственной премии и директором академического Института. Кроме того, в отличие от отца, страстного курильщика, Святослав Несторович всю свою жизнь энергично боролся с табакокурением, о чем много раз вспоминали его подчиненные и коллеги. Вместе с тем, весьма вероятно, что такие качества, как неиссякаемая активность в совершенствовании своих знаний, стремление находиться на самых передовых рубежах и внести свой вклад в совершенствование фундаментальных основ науки, принципиальность в отстаивании своих научных убеждений и бескомпромиссная борьба за них даже в самых неблагоприятных условиях, были унаследованы им от своих родителей.

В науках о Земле начальное направление исследований обычно задается специальностью, полученной в институте. Это может быть геология месторождений полезных ископаемых, петрология, минералогия, стратиграфия, тектоника и другие области геологических знаний. В каждой из них можно добиться высокой квалификации и признания. Более сложным является синтез результатов, полученных в конкретных областях, необходимый для выяснения общих закономерностей размещения рудных месторождений полезных ископаемых и строения земной коры. Разработка этих фундаментальных проблем геологии, чему была посвящена многолетняя научная и научно-организационная деятельность С.Н. Иванова, требует глубоких энциклопедических знаний, способности усваивать и критически анализировать огромные объемы непрерывно возрастающей информации по многочисленным геологическим объектам Земли и экспериментальным исследованиям, и, кроме того, огромной трудоспособности и целеустремленности в решении конкретных задач, ведущих к намеченным целям.

Эти качества в полной мере были присущи Святославу Несторовичу. Они хорошо известны его коллегам, ученикам, оппонентам и станут очевидными для любого внимательного читателя более 250 его научных публикаций.

### КОЛЧЕДАНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАЛА И МИРА

Специальность инженера по разведке цветных металлов, полученная С.Н. Ивановым после окончания в 1932 г. Уральского геолого-разведочного института в г. Свердловске (ныне Уральский государственный горный университет) определила и его первое место работы – геолог Красноуральского медного комбината. Через год он занимает должность геолога, а затем главного геолога Дегтярского геолого-разведочного управления. Работа на производстве имела в первую очередь практическую направленность – обеспечение запасами сырья предприятий меднорудной промышленности Урала. Проведенная под его руководством разведка Дегтярского месторождения позволила обосновать наличие самых больших запасов медных и медноколчеданных руд на Среднем Урале, что привело к созданию крупнейшего в мире рудника по подземной добыче медноколчеданных руд. Успех этих работ в большой мере был обеспечен развитием теории опробования. Было показано, что методы, которые широко рекомендовались в то время для установления минимально необходимой густоты сети опробования, не пригодны для месторождений полезных ископаемых в их естественном залегании, так как содержания компонентов в соседних пробах в какой-то мере связаны друг с другом. Обобщение опыта работы на интересном рудном объекте нашло отражение в первых научных публикациях С.Н. Иванова, увидевших свет в 1935, 1936 годах.

Впоследствии С.Н. Ивановым были открыты и разведаны богатые медные руды на Гумешевском месторождении.

Углубленное изучение геологии Дегтярского месторождения, а также анализ материалов по другим месторождениям, послужили серьезным основанием для вывода, что распространенные в те годы представления о связи колчеданного рудообразования с флюидными потоками, отделяющимися при внедрении гранитов на орогенном этапе, противоречат фактическим данным. Именно поэтому, идея связи колчеданных месторождений с геосинклинальным вулканизмом и последующего преобразования их процессами зеленокаменного метаморфизма, впервые высказанная академиком А.Н. Заварицким в 1936 г., была сразу же поддержана С.Н. Ивановым. Фактическое обоснование и дальнейшее развитие этой идеи стало одним из центральных направлений исследований С.Н. Иванова и его учеников. Единодушно признаваемая в настоящее время концепция об-

разования колчеданных руд в связи с вулканогенно-осадочными процессами на дне глубоководных бассейнов поначалу была встречена научным сообществом в штыки. Потребовались десятилетия кропотливых изысканий и упорной научной полемики для доказательства доорогенного генезиса колчеданных месторождений, триумфально подтвердившегося обнаружением черных курильщиков и гидротермальных рудных отложений на океаническом дне.

В 1940 г. С.Н. Иванов как опытный производственник с ярко выраженной склонностью к научным исследованиям был переведен на должность старшего научного сотрудника в Горно-геологический институт УФАИ СССР. Однако научное обобщение материалов в спокойной академической обстановке продолжалось очень недолго. Начавшаяся Великая Отечественная война потребовала больших усилий по обеспечению промышленности новыми источниками горнорудного сырья. По решению Академии наук, С.Н. Иванов был прикомандирован к Сибайской геолого-разведочной партии и возглавил разведку Сибайского месторождения. Следует заметить, что опыт и талант молодого исследователя уже тогда были замечены и высоко оценены. Так, мобилизованный в Красную Армию и уже продвигавшийся в направлении фронта С.Н. Иванов был остановлен и возвращен в Сибай. Надо сказать, что это было весьма мудрым решением, т.к. под его руководством были выявлены и немедленно начали разрабатываться крупные запасы очень богатых медных руд. Медаль “За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.” и Государственная (Сталинская) премия, присужденная С.Н. Иванову за открытие и разведку Ново-Сибайского месторождения, являются еще одним подтверждением этого.

В напряженное военное время С.Н. Иванов не прекращал научной деятельности, о чем свидетельствует защищенная им в 1943 г., по рекомендации академика А.Е. Ферсмана, кандидатская диссертация, посвященная досконально изученному им Дегтярскому месторождению.

В 1939 г. и в последующих публикациях С.Н. Иванов неоднократно давал благоприятную прогнозную оценку открытия колчеданных месторождений на восточном склоне Южного Урала. О колчеданности этого района преобладало отрицательное мнение, ввиду господства в этот период представлений о непереносимости связи колчеданных месторождений с гранитоидным магматизмом и связанном с ним образованием кварц-серицитовых сланцев, отсутствующих на Южном Урале. Реализация благоприятного прогноза, в которой С.Н. Иванов принял активное участие, быстро привела к открытию крупных медноколчеданных месторождений: Учалинского и Ново-Сибайского, а затем и других. Южный Урал является сейчас одним из богатейших колчеданосных районов мира.

В 1948 году С.Н. Ивановым была успешно защищена докторская диссертация “Колчеданные месторождения Урала и их метаморфизм”. К этому времени он уже снова работал в Горно-геологическом институте УФАИ СССР и считался одним из ведущих специалистов нашей страны в области колчеданного рудообразования.

В последующие два десятилетия продолжалось изучение геологии медноколчеданных месторождений и вмещающих комплексов пород в различных районах Урала, а также теоретические исследования их генезиса. Эти работы проводились под руководством С.Н. Иванова в содружестве с производственными организациями и научно-исследовательскими учреждениями Министерства геологии РСФСР сотрудниками возглавляемой им лаборатории, название которой со временем изменилось (эндогенной металлогении, физической геохимии, теоретической геологии). Материалы исследования Дегтярского и Сибайского месторождений были дополнены детальным изучением других типичных медноколчеданных месторождений: Левихинского, Карабашских, Красноуральских, Им. XIX партсъезда, Учалинского и др. Было сделано сопоставление месторождений Урала с аналогичными месторождениями других рудных районов, в том числе зарубежных, исследованы тонкие особенности строения и состава колчеданных руд, позволившие установить первичные и вторичные метаморфические признаки месторождений.

Последующими исследованиями установлена существенная роль осадочных процессов в рудообразовании. Изучение обломков руд в висячем боку месторождений показало, что основная их масса имеет не тектоническую, как считали многие исследователи (сотрудники ЦНИГРИ, М.Б. Бородаевская и ее последователи), а вулканогенно-осадочную природу (Иванов, Рокачев, 1966). Тем самым была убедительно доказана генетическая связь колчеданных залежей с ранним вулканизмом, что давно предполагалось А.Н. Заварицким, но долгие годы после опубликования его работ отрицалось многими геологами.

Изучение месторождений привело к выявлению характерной зональности в их строении. Снизу вверх и, обычно, от центра залежей к периферии последовательно отмечаются такие зоны: 1 – серицитизированных и пиритизированных порфиритов; 2 – сплошных преимущественно серноколчеданных руд; 3 – сплошных пирит-халькопиритовых руд с примесью сфалерита; 4 – преимущественно сфалеритовых руд иногда с примесью галенита и барита и характерной полосчатой текстурой; 5 – различные вулканогенные породы висячего борта, почти, или совсем, не содержащие сульфидов. Эта характерная зональность, впервые установленная еще в конце сороковых годов, позже подтверждена работами В.А. Прокина, В.П. Логинова и др. и

вновь более обстоятельно изложена С.Н. Ивановым и его учеником С.А. Рокачевым (1972, 1976).

Взаимоотношения околорудных метасоматических и метаморфических изменений были увязаны с преобразованиями регионального плана (кандидатские диссертации сотрудников лаборатории эндогенной металлогении В.М. Нечехина и В.А. Маркса, В.Н. Сазонова). Впервые проведено метаморфическое картирование рудовмещающих толщ Южного и Среднего Урала. Подтверждена предполагавшаяся ранее связь между региональными метаморфическими и околорудными метасоматическими изменениями. Показаны постепенные переходы между ними и их близкое во времени образование. Впервые было установлено доорогенное (раннегеосинклинальное) происхождение зеленокаменных изменений рудоносных толщ базальтовых субмаринных лав (Иванов, Нечехин, 1964). Этот вывод вступал в явное противоречие с господствующими представлениями об обязательной связи регионального метаморфизма с орогенной альпинотипной складчатостью и гранитами, но позже этот факт был установлен также А.А. Маракушевым на Дальнем Востоке, а затем подтвержден драгированием океанического дна и бурением в океанах, где зеленокаменные изменения вулканических пород являются общепризнанными и определяются как “метаморфизм океанического дна”. В числе “первооткрывателей” этого метаморфизма называются различные имена, но то, что первая и наиболее обстоятельная его характеристика была получена на Урале многие забыли или не знают.

Еще в сороковых годах С.Н. Ивановым было подмечено преимущественное расположение медноколчеданных месторождений на Южном Урале в брахиантиклинальных структурах. Однако генезис этих поднятий был не ясен и большинство геологов считало их складчатыми образованиями, хотя и высказывались предположения о связи их с вулканами. Анализ новых материалов по медноколчеданным месторождениям Южного Урала и некоторых других регионов привел к доказательству исходно вулканической природы этих поднятий. Было выяснено, что они представляют собой в различной степени эродированные и деформированные древние подводные вулканы (“ацерволиты”), перекрытые сверху более поздними вулканогенно-осадочными, осадочными и, реже, вулканическими породами, уже не содержащими оруденения (Иванов, Прокин, Долматов, 1962). Это важное заключение было встречено сначала с полным недоверием. Однако позже (через 5–10 лет) оно было принято во многих публикациях сотрудников ЦНИГРИ, подтверждено исследованиями лаборатории палеовулканологии Института геологии и геохимии УНЦ АН СССР (Г.Ф. Червяковский и др.) и сейчас получило всеобщее признание. С выявлением вулканической природы “брахиантиклинальных” структур



тур стало ясно, что рудоносные вулканические (в шлейфах вулканов – вулканогенно-осадочные) толщи имеют ограниченное распространение. В осадочных и вулканогенно-осадочных комплексах пород они образуют как бы крупные линзовидные, в разной степени деформированные, включения. В некоторых случаях сверху они перекрываются вулканитами иного, не рудоносного, типа. Появилась возможность резко локализовать поисковые работы в пределах остатков древних вулканических построек и их шлейфов. Это позволило, во-первых, сосредоточить поиски глубоко залегающих рудных тел и месторождений в пределах этих построек, а во-вторых, что особенно важно, производить поиски новых медноколчеданных месторождений вне известных рудных полей. Поиск самих месторождений в этом случае предваряется поиском остатков древних вулканов. Возможность обнаружения этих крупных сооружений, отличающихся по физическим свойствам и составу пород от вмещающих их толщ, неизмеримо более перспективна, чем выявление самих месторождений. На Южном и Среднем Урале для их поисков были успешно использованы методы геофизики.

Связь медноколчеданных месторождений с ранним, вулканическим этапом развития уральской геосинклинали обусловила проведение исследований геосинклинального вулканогенного разреза, в которых участвовали многие сотрудники Института геологии и геохимии и Ильменского государственного заповедника (Г.Ф. Червяковский, В.А. Коротеев, В.М. Нечухин, В.Г. Кориневский и др.). В процессе этих исследований разработаны методы формационного и палеовулканического подхода к определению типа вулканизма и его тектонической позиции, суммированные в ряде коллективных публикаций. В результате было установлено, что рудоносными являются почти исключительно базальтоидные, контрастно дифференцированные формации. Они, как в верхнем силуре (преимущественно на Среднем Урале), так и в среднем девоне (на Южном Урале), занимают совершенно определенное место в последовательности геосинклинальных серий: между палеобазальтовой (диабазовой) внизу и андезито-базальтовой (порфиритовой) вверху. Показано, что медноколчеданные месторождения, в отличие от скарновых медно-магнетитовых, формировались до инверсионного поднятия ложа геосинклинали (Иванов, 1966, 1969). Вулканы андезитовой и андезито-дацитово-порофировой серии (порфириды, иногда кварцевые, и, изредка, порфиры, содержащие калишпат), встречающиеся в рудных полях выше контрастной базальтоидной серии, не связаны с оруденением, как это предполагали многие геологи, и принадлежат к более поздним вулканическим этапам. Были установлены петрографические и геохимические особенности пород рудоносной и подрудной палеобазальтовой толщи (Иванов, 1963; Иванов и др., 1973; и др.).

Практическое значение выявленных особенностей строения колчеданных месторождений Урала и закономерностей их размещения было впервые наиболее полно сформулировано С.Н. Ивановым в 1962 году (“Факторы размещения колчеданных месторождений в геосинклинальных системах и их отражение на металлогенических картах; на примере Урала” – Тр. Горно-геол. ин-та УФАИ СССР, вып. 58). В этой обобщающей работе рассмотрены главные закономерности размещения меднорудных месторождений колчеданного типа. Указаны основные рудоносные этажи (подэтажи) на Среднем и Южном Урале, их стратиграфическое положение и отличия в литологии, магматизме и метаморфизме от безрудных этажей. В частности, отмечены границы дифференцированного рудоносного средне-девонского комплекса на Южном Урале: после излияния карамалыташских диабазов (базальтов) и до появления колтубанских относительно свежих эффузивов. Мотивирована рекомендация производить расчленение вулканогенных толщ в разрезах и на картах по формационному признаку. Подчеркнуто большое значение рудоносных вулканических брахиантиклинальных поднятий. Отмечено, что “особое внимание этим структурам должно быть уделено в вулканогенно-осадочных толщах, венчающих и перекрывающих спилито-диабазовые (спилито-кератофировые) формации и их метаморфические аналоги” (стр. 117). Даны рекомендации по выделению метаморфических фаций, позволяющие выделять площади, перспективные в отношении рудоносности. Указано, что “сильно повышенные магнитные свойства диабазов и спилитов в рудном поле Сибая позволяют надеяться уловить магнитной съемкой на Южном Урале и другие рудные поля, скрытые под более молодыми осадками” (стр. 123).

Эта работа является, по существу, краткой творческой сводкой основных закономерностей размещения медноколчеданных месторождений на Урале. Она не только имела первостепенное значение для поисково-разведочных работ, но и внесла несомненный вклад в теорию рудогенеза. Позже, в некоторых разделах (геотектонические основы магматизма и металлогении), она была существенно усовершенствована (Иванов и др., 1974, 1975; Иванов, 1978). Были внесены также различные уточнения как учеными Академии, так и сотрудниками неакадемических институтов и производственных организаций. В целом же, данная работа явилась научной основой поисков, которые привели к открытию и созданию нового меднорудного района на Урале. Поисково-разведочные работы геологов Башкирского геологического управления опирались в основном на отмеченные выше закономерности. Опыт этих работ, результатом которых явилось открытие Подольского, Юбилейного и других месторождений в Баймакском и Хайбуллинском районах БАССР, был в сжатом виде обобщен С.Н. Ивановым

и главным геологом Башкирского территориального управления В.А. Прокиным (Иванов, Прокин, 1974). Показано, что поиски строились на основе выявления изолированных центров извержения грубых пирокластов и контрастно дифференцированных лав (ацерволитов), перекрытых продуктами последующего вулканизма, отличными по составу. Таким образом, они строились на основе работы 1962 г. С.Н. Иванова, В.А. Прокина, Г.К. Долматова и более поздних подтверждающих исследований. Признанием вклада С.Н. Иванова в разработку научных основ прогнозирования и в открытие нового меднорудного района на Урале явилось выдвижение его на Государственную премию 1980 г., поддержанное многими производственными и научно-исследовательскими организациями.

### НОВАЯ ГЛОБАЛЬНАЯ ТЕКТНИКА

В 1966–1975 гг. С.Н. Иванов занимал должность директора Института геологии и геохимии УНЦ АН СССР, которому в 1970 г. было присвоено имя академика А.Н. Заварицкого. Его директорство совпало с революционным периодом в науках о Земле. Геосинклинальная парадигма, более 100 лет определявшая развитие геологической науки, должна была уступить место новому мировоззрению, в соответствии с которым формирование складчатых (орогенических) поясов связывалось с открытием и закрытием океанов. К восприятию новой мобилистской парадигмы С.Н. Иванов оказался более подготовленным, чем многие другие ученые не только Института, но Советского Союза. Он и раньше был убежденным сторонником важности горизонтальных движений земной коры и отстаивал свои убеждения даже тогда, когда монополия крупных чиновников на научную истину находилась в ранге внутригосударственной политики. Очень выразительно об этом говорит цитата из газеты 1952 г., перепечатанная “Наукой Урала” (1987): “На семинаре геологов активно обсуждались современные космогонические гипотезы о проблемах происхождения Земли. Критикуя буржуазные теории и гипотезы в этой области, от которых еще не освободились некоторые советские ученые, участники семинара дали принципиальный отпор доктору наук С.Н. Иванову, который пытался пропагандировать идеалистическую теорию реакционного ученого Вегенера, отражающую распад буржуазной геологической науки”. Основания для репрессии были более чем очевидны, но Сталинская премия, полученная незадолго до этого, возможно, стала преградой.

Этот период научно-организационной деятельности С.Н. Иванова памятен многим сотрудникам старшего поколения, дававшим ему неоднозначную, часто критическую оценку. Это было связано с жесткими требованиями С.Н. Иванова к сотрудни-

кам Института быть в курсе достижений мировой науки, т.к. в этот период шло лавинообразное накопление фактов, подтверждающих правильность мобилистской концепции. В иностранных публикациях приводились многочисленные данные по исследованию рельефа океанского дна, его палеомагнитным характеристикам, палеогеографическим реконструкциям на континентах, сейсмическим данным, анализам распространения очагов землетрясений и теоретическим исследованиям возможных механизмов движения литосферных плит. В нашей же стране и, естественно, в Институте продвижение новой парадигмы встречало непонимание и резкую критику со стороны ведущих специалистов, не готовых к полному отказу от привычного мировоззрения. В оппозиции оказалось и партбюро, в закрытых заседаниях которого беспартийный директор не имел права принимать участия. Возможно, это стало одним из поводов вступления С.Н. Иванова в члены КПСС, так как по складу своего характера он всегда отдавал предпочтение занятиям наукой, нежели политической деятельностью. Другим важным шагом С.Н. Иванова стало назначение на должности исполняющих обязанности заведующих лабораториями перспективных молодых научных сотрудников (Г.Б. Ферштатера, В.М. Нечеухина, А.А. Краснобаева, А.А. Ефимова, В.Н. Пучкова), защитивших впоследствии докторские диссертации. Существенным изменениям подверглись и планы научно-исследовательских работ.

Приоритетным направлением в этот период стала разработка новой концепции геологического развития Урала с позиций тектоники литосферных плит. Эти исследования, требующие переосмысления всей совокупности материалов многолетних работ на основе достижений мировой науки, проводились в содружестве с Геологическим институтом АН СССР, возглавляемым в то время академиком А.В. Пейве, который одним из первых крупнейших советских тектонистов публично отказался от своих старых взглядов и принял активное участие в разработке новой мобилистской теории. Его статья “Океаническая кора геологического прошлого” (Геотектоника, 1969. № 4) обосновывала присутствие тектонических фрагментов разрезов древней океанической коры в различных по возрасту складчатых сооружениях континентов. Такая интерпретация вносила новое содержание в определение как геосинклиналей – участков земной коры, характеризующихся корой океанического типа, так и геосинклинального процесса – преобразования коры океанического типа в континентальную. С.Н. Ивановым вместе с сотрудниками ГИНа (А.С. Перфильев) и нашего института (В.М. Нечеухин, В.Н. Пучков и др.) на этой основе была разработана принципиально новая картина глубинного строения Урала и истории его развития. Тектоническая карта Урала оказалась первой в мире, по-

строенной на концепции тектоники литосферных плит. Новые принципы тектонического районирования, разработанные при составлении этой карты, широко использовались в дальнейшем при построении тектонических карт складчатых областей в нашей стране и за рубежом. Институт же приобрел свое лицо, резко выделяющее его в то время из большинства научно-исследовательских и академических учреждений Советского Союза. Основная заслуга в этом, вне всякого сомнения, принадлежала его директору – С.Н. Иванову. В настоящее время мобилистская парадигма является общепризнанной во всем мире, она перешла в разряд нормальной науки (по классификации Куна), непрерывно пополняющейся новыми методическими и теоретическими разработками и идеями, не изменяющими ее фундаментальных основ.

### МЕТАМОРФИЗМ РАСТЯЖЕНИЯ

Уже после издания объяснительной записки к новой Тектонической карте Урала (1977 г.) С.Н. Иванов обратился к вопросу о позднедокембрийской (1650–570 млн. лет) истории региона. В концепции формирования орогенных поясов Земли в связи с открытием и закрытием океанов одной из ключевых является проблема механизма разрыва плит. В цикле Уилсона, отражающем этапы прохождения литосферой различных стадий превращения океана в орогеническую систему, разрыв плит рассматривался как относительно кратковременный эпизод, связанный с возникновением раскола (разлома) над горячей точкой и последовательным его углублением (эмбриональная стадия и стадия юности). Этой важнейшей проблеме были посвящены отдельные публикации С.Н. Иванова (1977–1982 гг.). Все предшествующие исследователи позднего докембрия Урала, начиная с классических работ академика Н.С. Шатского, рассматривали этот период в рамках гипотезы орогенических циклов. В позднем докембрии Урала предполагалось различное количество таких циклов (от одного до пяти), завершившихся байкальской орогенной складчатостью. Исследования С.Н. Иванова показали, что древнее байкальское горообразование на Урале и в Сибири имеет не геосинклинальное, а предрифтовое происхождение. На протяжении всего позднего докембрия в зоне будущего Урала проявлялись процессы рифтового растяжения, обусловившие пластическое утонение, а затем разрыв Евразийского континента и образование в раннем палеозое (около 500 млн. лет назад) Уральско-Палеоокеана. Впервые в мировой науке была высказана идея о возможности проявления регионального метаморфизма не только в обстановках орогенного сжатия, но и в условиях растяжения земной коры. Представленные С.Н. Ивановым обоснования континентальной рифтовой и диасхизис-

ной природы позднедокембрийского этапа развития Урала, Тимана и других фанерозойских складчатых областей обсуждались на 26-й, 27-й и 28-й сессиях Международного геологического конгресса (1980–1988 гг.). В настоящее время континентальная рифтовая природа рифейских толщ центральной зоны и западного склона Урала общепризнана. Практическим следствием принципиально новой трактовки позднедокембрийского этапа развития фанерозойских складчатых поясов является иная, более положительная металлогеническая оценка “миогеосинклинальных” толщ, слагающих обширные пояса в палеокраевых (палеоконтинентальных) частях орогенных областей. В них можно ожидать открытия месторождений полезных ископаемых рифтогенного типа: редких элементов, связанных с карбонатами, золота, цветных металлов, в том числе медных месторождений типа Катанги, коренных месторождений алмазов и др.

Обоснование континентальной рифтовой и диасхизисной природы позднедокембрийского этапа развития Урала и анализ мировых данных позволили С.Н. Иванову выдвинуть новую геотектоническую концепцию полного крупного цикла развития литосферы подвижных поясов неогена (Иванов, 1979, 1980, 1982; Иванов, Русин, 1984, 1986; Ivanov, Rusin, 1986). В таком цикле, продолжительность которого может превышать 1 млрд. лет, происходит закономерная, эволюционно направленная, смена энсиалических режимов развития литосферы энсиматическими. Энсиалические режимы, отражающие реакцию литосферных плит на развитие глубинных мантийных процессов (разноглубинные плюмы и конвекция), обуславливают пластическое утонение и разрыв плит. Эти события, в основе которых лежит континентальный рифтогенез, имели глобальное развитие в позднем докембрии. Они могли прерываться на любой из стадий (авлакогены, недоразвитые рифты) либо приводить к открытию океанических бассейнов. В подавляющем числе фанерозойских складчатых областей открытие бассейнов, отмечаемое появлением офиолитовых ассоциаций, произошло в раннем палеозое. Многочисленные, активизировавшиеся в последние годы, попытки зарубежных исследователей и некоторых геологов в нашей стране обосновать проявление неопротерозойского цикла Уилсона, в частности и на Урале, не выходят из разряда предположений. В фанерозойских областях отсутствуют бесспорные позднедокембрийские офиолиты и островодужные комплексы, нет проявлений индикаторного для коллизионных орогенов высоко- и сверхвысокобарического метаморфизма, а зональный метаморфизм позднедокембрийских толщ, вещественным выражением которого являются комплексы рифтогенных бластомилонитов, сопряжен с пластическим (хрупкопластичным) растяжением литосферы и имеет кон-



тинентальную рифтовую природу (Иванов, Русин, 1986, 1997, 2000).

Повышенный интерес к геологическим свидетельствам процессов растяжения в земной коре заставил С.Н. Иванова обратиться к регионам, где их следы хорошо сохранились и в достаточной мере изучены. Наилучшим местом оказались Кордильеры Северной Америки в районе Провинции бассейнов и хребтов. Последовало кропотливое изучение гигантского объема опубликованных материалов, завершившееся написанием совместной с К.С. Ивановым работы “Режимы и структуры растяжения земной коры Провинции бассейнов и хребтов в Кордильерах Северной Америки” (1996). Книга является обобщающей сводкой по геологии одной из наиболее изученных всеми современными методами обширнейшей области растяжения земной коры. Процессы растяжения проявлялись здесь на протяжении длительного времени – от позднего докембрия до кайнозоя. Созданные при этом структуры, хорошо представленные в прекрасных обнажениях, могут служить эталонными для толкования строения земной коры в менее обнаженных и менее изученных областях. Здесь четко выделяется верхний этаж, разбитый сбросами до глубины 6–8 км, и нижний, интенсивно смятый и отделенный от верхнего несогласием. При этом контакт между ними всегда резкий, хотя литологическая стратификация иногда сохраняется. Первоначально предполагали, что толщи нижнего этажа были деформированы орогенной складчатостью до отложения на них верхних, но потом было твердо доказано, что оба типа деформаций (хрупкая вверху и пластичная внизу) произошли одновременно. Возникшее субгоризонтальное движение различной амплитуды было целиком обусловлено реологическими свойствами пород, различно проявившимися при общей деформации растяжения литосферы на обширных пространствах Кордильер. К сожалению, эти результаты остаются неизвестными либо недоступными для понимания исследователей, которые продолжают интерпретировать угловые несогласия только как однозначные свидетельства складчатого или коллизионного орогенеза даже в тех случаях, когда какие-либо иные свидетельства обстановок сжатия полностью отсутствуют.

### ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Строение континентальной земной коры всегда было одной из наиболее сложных и привлекательных проблем геологии. Первые модели, отражающие внутреннее строение планеты на основании сейсмических данных (модели 1-го поколения), начали создаваться в тридцатых годах прошлого столетия, спустя почти 10 лет после открытия Конрадом сейсмической границы (К), разделя-

ющей земную кору на две части. В основу объяснения двухслойного строения была положена различная плотность пород. Верхний слой (не считая неконсолидированных осадков) отождествлялся с породами гранитного состава, а нижний – базальтового. Именно такая двухслойная кора предполагалась при постановке в 1970 г. сверхглубокого бурения на Кольском полуострове. Как известно, бурение Колской сверхглубокой скважины (СГ-3) полностью опровергло предполагаемый разрез коры: в средней части, где ожидалась порода гранитного состава, оказались более тяжелые вулканыты, а внизу, где предполагались двупироксеновые гранулиты “базальтового слоя”, были вскрыты кремнекислые гранито-гнейсы.

Первая модель гидродинамической зональности земной коры, основанная на совершенно иных принципах, была разработана С.Н. Ивановым еще в 60-е годы прошлого столетия. В этой модели впервые в мире была проанализирована роль глубинных водных флюидов для формирования гидродинамической и реологической зональности земной коры, высказаны предположения о природе сейсмической границы Конрада, о влиянии давления флюида на реологические свойства пород в глубинных зонах, а также значения градиентов флюидного давления в гидротермальном рудообразовании. Опубликованная в “Ежегоднике-1969” Института геологии и геохимии УФАН СССР, а затем, по настоянию академика В.И. Смирнова, в уже подготовленном к изданию выпуске IX тома “Закономерностей размещения полезных ископаемых” (1970), намного опередившая свое время, модель Иванова не привлекла к себе должного внимания современников. Эта гидродинамическая и одновременно реологическая модель, в отличие от появившихся в конце семидесятых годов многочисленных реологических моделей, определяла положение хрупко-вязкого перехода (“переходной зоны”) не только геотермическим градиентом, но и градиентом давления флюида в гидростатической и литостатической зонах. Работа над этой моделью продолжалась и в последующие годы, но наиболее целенаправленной она стала в конце 80-х и 90-х годах. К этому времени развитие сейсмических методов и усовершенствование их физической интерпретации привело к разделению границы Конрада на две –  $K_1$  и  $K_2$ , соответственно, на глубинах приблизительно 11 и 27 км. Вместе с прогрессом геологических знаний, исследований очагов землетрясений и экспериментальных деформаций пород и минералов при высоких температурах и давлениях при различных соотношениях флюидной фазы открывались новые возможности для теоретического анализа. В эти годы С.Н. Ивановым была опубликована серия статей и препринтов (Иванов, 1990–1998; Ivanov S., Ivanov K., 1993), в которых приводились многочисленные аргументы, обосновывающие предлагаемую гидро-

динамическую модель вертикальной реологической зональности земной коры, рассматривалась вероятная природа сейсмических границ в земной коре, обосновывалось значение и строение переходной (“барьерной”) зоны и геологические признаки важнейшего ее элемента –отделителя (“detachment fault”).

В 1999 году в декабрьском номере *Economic Geology* известный специалист в области гидротермального рудообразования из Калифорнии Р.О. Фурнье (Fournier) опубликовал обстоятельную статью, полностью повторяющую основные положения публикаций С.Н. Иванова 30-летней давности. Ссылки на эти и более поздние работы С.Н. Иванова (1980–1998 гг), в т.ч. и в зарубежных изданиях, где приводятся обоснования не локального, а глобального значения переходной непроницаемой зоны как важнейшего элемента общей структуры земной коры, в библиографии статьи Фурнье отсутствовали. В ответ на недоумение, выраженное в письме С.Н. Иванова, он написал следующее: *“...Я весьма признателен Вам за перепечатку статьи 1970 г. Я был абсолютно не осведомлен о существовании этой важной работы. К сожалению, ее появление не отслежено в англоязычной литературе. Сожалею, что я не читаю по-русски, и я не натолкнулся на Вашу статью на английском языке, опубликованную в “Journal of Geodynamics” в 1993 году. Получив Ваше письмо, я запросил ее в библиотеке Американского геологического общества и прочел. Поздравляю Вас с публикацией этой замечательной работы. Вы, несомненно, являетесь пионером в развитии важных идей гидродинамики флюидов в земной коре...”*

В 1998 г. С.Н. Иванов опубликовал работу “О реологических моделях земной коры: критическое рассмотрение”, в которой отметил исторические аспекты, дал обстоятельный анализ современного состояния и перспектив исследований в этой области, а также охарактеризовал предлагаемую им модель строения земной коры, основанную на последних достижениях науки. Эту модель он назвал моделью третьего поколения. Согласно этой модели, трещины, полости и открытые поры (ТПП) в пределах этажа 7–12 км закрываются, создавая непроницаемую для флюидов барьерную (“переходную”) зону между верхней корой с гидростатическим давлением воды в ТПП и средней – с литостатическим давлением флюидов. Барьерная зона в экстремальных условиях, таких, как поступление с больших глубин высоконапорных флюидов, путем гидроразрыва или в результате резких тектонических катаклизмов, кратковременно (в масштабах геологического времени – на мгновения) неоднократно прорывается. Закрытие каждого прорыва вплоть до нового прорыва (или навсегда) обеспечивается падением давления в ТПП и быстрым выделением жильных минералов, вследствие дросселирования эф-

фекта Джоуля-Томсона. Кроме того, при возрастании давления вероятно частичное механическое раздавливание ТПП, при котором исчезает флюидная проводимость вследствие нарушения протяженности трещин.

Высокое, литостатическое давление флюидов в ТПП непосредственно под барьерной зоной обеспечивает очень низкое эффективное давление, определяющее полное снятие упрочнения горных пород от всестороннего сжатия. Вследствие этого, в средней коре, особенно в ее верхней части, создаются благоприятные условия для масштабных пластических и хрупко-пластических деформаций. Пластическая (хрупко-пластическая) зона, как правило, отделяется от прочной плотной зоны более поздним тектоническим швом (отделителем).

С.Н. Ивановым неоднократно рассматривался вопрос о научном и, особенно, практическом значении в различных областях геологических знаний как самой переходной зоны, так и отделителя. В очень краткой форме эти выводы сводятся к следующему.

1. *В области тектоники.* Отделитель отграничивает зону хрупких деформаций – сбросов, сдвигов, тектонических брекчий и других хрупких проявлений тектоники от ниже расположенной зоны в основном пластических деформаций. Это хорошо задокументировано в различных областях Земли (Провинция бассейнов и хребтов на западе Северной Америки, каледониды Скандинавии и др.). Отделитель отмечает предел распространения вниз глубинных разломов. Обычно изображаемая на геолого-геофизических профилях “клавишная тектоника” с пересечениями глубинными, почти вертикальными, разломами всей мощности земной коры в действительности не может иметь места. Упругая энергия для разрыва всей земной коры в принципе может накапливаться лишь в оливиновой верхней мантии при необычных, очень низких тепловых потоках, гарантирующих ее от размягчения. Отделитель является крайне слабым швом внутри земной коры и по нему в первую очередь разряжаются все последующие тектонические напряжения. При тектонической денудации верхней части земной коры и (или) изменении теплового потока в процессе деформации коры зона отделителя мигрирует и накладывается на верхнюю (или подстилающую) зону. Изучая наложение хрупких структур на пластические (или наоборот) можно получить существенные данные о тектонической эволюции региона.

2. *В области петрологии.* Отделитель (вернее переходная зона, указателем которой он является) ограничивает сверху область высоких флюидных давлений, где формируются крупные плутоны “водных” коровых гранитоидов. Водонасыщенные магмы не могут подняться выше зоны отделителя, т.к. при этом они теряют воду и другие флюиды и кристаллизуются. Выше отделителя прорывы



ваются только “сухие” и маловодные магмы. Проблема пространства для интрузий ниже отделителя снимается, благодаря податливости, текучести среды. В этой области легко осуществляется механизм гидроразрыва, способствующий гравитационной дифференциации магм. Зона отделителя является верхней границей различных типов метаморфизма. Выше нее проявляется низкотемпературный однородный метаморфизм, обычно не превышающий уровня зеленосланцевой фации, а в экстремальных условиях, при ее кратковременном разрушении – зональный метаморфизм умеренных и низких давлений. Ниже отделителя – метаморфизм растяжения, продуктами которого являются разнотемпературные комплексы рифтогенных бластомилонитов (Иванов, Русин, 1987, 1997).

3. В области рудообразования. Отделитель и переходная (“барьерная”) зона имеют исключительное значение в размещении эндогенных жильных месторождений разнообразных руд (Иванов, 1970). Причиной этого является резкий перепад в этой зоне флюидных давлений и сильное понижение температуры вследствие адиабатического расширения и дроссельного эффекта при прорывах флюидов.

4. В области гидрогеологии и нефтяной геологии. В понимании глубинной гидрогеологии значение зоны отделителя является определяющим (Иванов, 1970, 1991). Поверхностные воды в свободном состоянии не могут проникать ниже зоны отделителя, выше которой нередко отмечаются залежи рассолов. С зоной отделителя связано образование многих элизионных режимов с высоконапорными водами. Частая приуроченность месторождений углеводородов к областям повышенных флюидных давлений позволяет предполагать исходную концентрацию их, еще не вскрытую бурением, ниже зоны отделителя (Иванов, 1989). В принципе, это предположение могло бы быть проверено не только сверхглубоким бурением в зонах многоэтажного нефтепроявления, но и вне этих зон, замерами естественного флюидного давления и при искусственном гидроразрыве в сверхглубоких скважинах.

### СВЕРХГЛУБОКОЕ БУРЕНИЕ

В 2002 г. вышла в свет книга С.Н. Иванова “Роль флюидов в реологической стратификации земной коры с учетом данных сверхглубокого бурения. Кольская скважина СГ-3”. Основная часть работы освещает нетрадиционное толкование данных бурения Кольской сверхглубокой скважины, впервые в мире достигшей глубины 12.3 км. В книге отмечаются разные прямые и косвенные признаки пересечения скважиной в геотектонических условиях вертикальной реологической и гидродинамической палеозональности с барьерной зоной между верхней и средней корой. Кратко рассмотрены различные заключения геологов и геофизиков о приро-

де изменения строения пород и сейсмических аномалий в районе СГ-3. Сделан вывод, что главным общенаучным достижением бурения СГ-3 является открытие на границе верхней и средней коры не связанной воды под большим, литостатическим давлением, удерживаемым сверху непроницаемой плотной зоной.

В планах С.Н. Иванова было написание еще двух монографий, посвященных еще двум, самым глубоким в Европе скважинам – КТБ в Германии, и Гравберг (Стенберг) в Швеции. Германская скважина, пробуренная до глубины 9.1 км, привлекала его большим числом гидравлических испытаний (более 20, включая ряд испытаний гидроразрывом). В отличие от мнения немецких исследователей, считающих, что КТБ приблизилась к зоне хрупко-пластичного перехода С.Н. Иванов полагал, что скважина пересекла его и вышла в литостатическую зону. Он считал, что низкое гидростатическое поровое давление на забое является кажущимся и, в основном, обусловлено кратковременностью измерительного эксперимента и огромной разницей в прочности (податливости давлению) пород при медленной деформации, формирующей в течение геологического времени реологическую зональность земной коры, и быстрой, связанной с бурением.

Скважины Гравберг и Стенберг С.Н. Иванов изучал по присланным, по его просьбе, полным отчетным материалам. Тщательная проработка первичных материалов бурения позволила ему сделать вывод, что обе скважины дошли до барьерной (“переходной”) зоны на глубине около 6.5 км. Они также подтвердили модель С.Н. Иванова и показали обоснованность предположения Т. Голда (США) о возможном глубинном происхождении нефти в девонском метеоритном кратере Сильян Ринг. К сожалению, шведским буровикам не удалось пробиться через барьерную зону и вскрыть потенциально нефтеносные (газоносные) горизонты ниже нее.

С.Н. Иванов скончался на 93-м году жизни. Он прожил долгую и, по его словам, счастливую жизнь, целиком отданную науке.

Из приведенного краткого очерка его научных достижений нетрудно видеть, сколь многогранными были его труды, сколь высока эрудиция и смелы выдвигаемые идеи, неизменно опережавшие свое время и до сих пор не до конца осознанные геологической общественностью.

### ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ С.Н. ИВАНОВА

1. О природе рудоносных брахиантклиналильных поднятий Урала // Закономерности размещения полезных ископаемых на Урале. Тр. Горно-геол. ин-та УФАИ СССР. Вып. 58. 1962. С. 129–153. (Соавторы: В.А. Прокин, Г.К. Долматов).
2. О времени зеленокаменных изменений и происхо-

- ждении натриевых и существенно калиевых магматических серий в геосинклинальных образованиях Урала // Докл. АН СССР. 1964. Т. 157, № 3. С. 593–596. (Соавтор В.М. Нечеухин).
3. Особенности гидротермального рудообразования под сушей и морем // Докл. АН СССР. 1966. Т. 169, № 1. С. 177–180.
  4. Происхождение сульфидных обломковидных образований в надрудных толщах колчеданных месторождений // Геология рудных месторождений. 1966. № 6. С. 157–159.
  5. Особенности образования рудных месторождений, связанных с гидротермами // Труды II Уральского петрографического совещ. Т. 1. Свердловск: УФАН СССР, 1969. С. 60–86.
  6. О соотношении колчеданного оруденения и зеленокаменных изменений рудовмещающих вулканогенных толщ // Геология рудных месторождений. 1969. № 1. С. 40–49. (Соавтор В.М. Нечеухин).
  7. Предельная глубина открытых трещин и гидродинамическая зональность земной коры // Ежегодник-1969. Свердловск: ИГГ УФАН СССР. 1970. С. 212–233.
  8. О причинах образования гидротермальных рудных месторождений // Закономерности размещения полезных ископаемых. Т. IX. М.: Наука, 1970. С. 20–47.
  9. Основные особенности вулканизма на разных стадиях развития эвгеосинклиналей (по данным палеовулканологических исследований на Урале // Эволюция вулканизма в истории земли: мат-лы конф. М., 1973. с. 16–18. (Соавторы: Г.Ф. Червяковский, В.М. Нечеухин, Т.В. Дианова).
  10. Эффект Джоуля-Томсона в водных растворах хлористого натрия как фактор рудоотложения // Докл. АН СССР. 1973. Т. 211, № 3. С. 694–696. (Соавторы: Л.Н. Ксенофонтова и В.Н. Анфилов).
  11. Рудоносность захороненных вулканических построек // Докл. АН СССР. 1974. Т. 216, № 4. С. 875–878. (Соавтор В.А. Прокин).
  12. Тектоника Урала (Объяснительная записка к тектонической карте Урала). М.: Наука, 1977. 120 с. (Соавторы: А.В. Пейве, В.М. Нечеухин, А.С. Перфильев, В.Н. Пучков).
  13. Метаморфизм разрыва плит // Докл. АН СССР. 1978. Т. 238, № 4. С. 908–912.
  14. О геотектоническом положении месторождений колчеданного типа // Тр. ИГиГ УНЦ АН СССР. Вып. 132. Свердловск, 1978. С. 3–6.
  15. О байкалидах Урала и природе метаморфических толщ в обрамлении эвгеосинклиналей. Научн. доклады. Свердловск: УНЦ АН СССР. 1979. 77 с.
  16. Природа метаморфических серий в рамках и срединных массивах геосинклиналей // Докл. сов. геол. на XXVI сессии МГК. Петрология. М.: Наука, 1980. С. 45–51.
  17. Модель развития линейных складчатых поясов на материках // 27-й МГК: тез. докл. Т. 3, 06-07. М.: Наука, 1984. С. 238. (Соавтор А.И. Русин).
  18. Формирование земной коры Урала. М.: Наука, 1986. 248 с. (Савторы: К.С.Иванов, В.Н. Пучков и др.).
  19. Geodynamic regims in the Precambrian of the Urals // Precambrian research. 1986. V. 33. P 189–208. (Co-authors: A.I. Rusin, A.A. Krasnobaev).
  20. Некоторые основные проблемы тектоники, связанные с реологией литосферы // Тектоника и металлогения Урало-Тяньшаньской системы: информ. матер. Свердловск: УрО АН СССР. 1989. С. 171–175.
  21. Зоны пластических и хрупких деформаций в вертикальном разрезе литосферы // Геотектоника. 1990. № 2. С. 3–14.
  22. Отделитель (о природе и значении геофизической границы  $K_1$ ) // Докл. АН СССР. 1990. Т. 311, № 2. С. 428–431.
  23. Природа границы между верхней и средней частью земной коры и ее значение. Научные доклады. Екатеринбург: УрО АН СССР, 1991. 44 с.
  24. Реологическая зональность литосферы, природа и значение границы  $K_1$  // Метаморфогенная металлогения Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 1992. С. 10–29.
  25. Природа главных геофизических границ в земной коре континентов // Тектоника литосферы: современные данные и идеи. М.: Наука, 1993. С. 8–10.
  26. Hydrodynamic zoning of the Earth's crust and its significance // J. Geodynamics. 1993. V. 17, № 4. P. 155–180. (Co-author K.S. Ivanov)
  27. Вероятная природа главных сейсмических границ в земной коре континентов // Геотектоника. 1994. № 3. С. 3–11.
  28. Режимы и структуры растяжения Провинции бассейнов и хребтов в Кордильерах Северной Америки. Екатеринбург: УрО РАН. 1996. 150 с. (Соавтор К.С. Иванов).
  29. Основные проблемы рифея Урала // Рифей северной Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. С. 111–127. (Соавтор К.С. Иванов)
  30. Континентальный рифтовый метаморфизм // Геотектоника. 1997. № 1. С. 6–19. (В соавторстве с А.И. Русиним).
  31. О реологических моделях земной коры: критическое рассмотрение. Екатеринбург: УрО РАН. 1998. 40 с.
  32. Еще раз о байкальской орогенной складчатости на Урале // Ежегодник-1997. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1998. С. 40–42.
  33. Непроницаемая зона на границе верхней и средней части земной коры // Физика Земли. 1999. № 9. С. 96–102.
  34. Тектонические условия проявления верхней сейсмической границы  $K_1$  и ее значение // Ежегодник-2000. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. С. 222–224.
  35. О главных вопросах флюидного режима земной коры в связи со статьей И.Г. Киссина на эту тему // Физика Земли. 2002. № 2. С. 92–95.
  36. Рифтогенез на Урале // Рифты литосферы: мат-лы Междунар. науч. конф.: VIII чтения А.Н. Заварицкого. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. С. 15–18. (Соавтор К.С. Иванов.)
  37. Роль флюидов в реологической стратификации земной коры с учетом данных сверхглубокого бурения. Кольская скважина СГ-3. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. 2002. 152 с.

*А.И. Русин, Е.И. Богданова*