

## ГСЗ: ОТ ГЛУБИННОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ К СЕЙСМОЛОГИИ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ. К СТОЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ И.П. КОСМИНСКОЙ

© 2016 г. О.Ю. Ризниченко

*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия*

### Введение

В середине прошлого столетия наша страна по праву занимала ведущие позиции в исследованиях глубинного строения Земли сейсмическими методами. В 1948 г. академик Г.А. Гамбурцев разработал теоретические и методические основы метода глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ). К этому времени под его руководством в Институте теоретической геофизики АН СССР (ныне ИФЗ РАН) сформировался коллектив ученых-единомышленников, названный позже школой Гамбурцева. Одним из ярчайших представителей этой школы была Ирина Петровна Косминская (1916–1996), возглавившая после безвременной кончины Г.А. Гамбурцева, которого она всегда считала своим учителем, созданную в институте Группу ГСЗ. Здесь наряду с глубокими теоретическими знаниями и высочайшим профессионализмом проявился недюжинный организационный талант Ирины Петровны – до последнего дня ее авторитет оставался непререкаемым в научной среде. Вместе с коллегами И.П. Косминская приложила немало усилий для развития и становления метода ГСЗ, его внедрения в практику геолого-геофизических исследований не только в нашей стране, но и за рубежом. Жизнь И.П. Косминской, как и большинства представителей школы Гамбурцева, неразрывно связана с Институтом физики Земли АН СССР, который в течение многих десятилетий оставался признанным лидером в области наук о Земле.

### Роль И.П. Косминской в развитии и становлении метода ГСЗ



21 июня 2016 г. исполняется 100 лет со дня рождения доктора физико-математических наук Ирины Петровны Косминской, известного российского геофизика-сейсмолога, ученого с мировым именем. В последний год своей жизни Ирина Петровна составила автобиографию, в которой от третьего лица описала свой путь в науке. Выдержки из этого, теперь уже исторического документа приводятся ниже курсивом с сохранением авторской орфографии и пунктуации.

*И.П. Косминская родилась 21 июня 1916 г. в Москве. В июле 1941 года с отличием окончила Московский геологоразведочный институт им. С. Орджоникидзе. С 1941 г. – сотрудник Института теоретической геофизики АН СССР, ныне Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. В 1952 году защитила кандидатскую диссертацию, а в 1966 году – докторскую.*

*И.П. Косминская* – ученица выдающегося российского геофизика-сейсмолога академика Г.А. Гамбурцева. Ее деятельность связана с развитием двух предложенных им методов – разведочного корреляционного метода преломленных волн (КМПВ) и его глубинного варианта – метода сейсмического зондирования земной коры и верхней мантии Земли (ГСЗ).

Главные работы *И.П. Косминской* относятся к развитию метода ГСЗ. Применение этого метода связано с серией открытий о глубинной структуре коры, известных не только в СССР, но и во всем мире.

После кончины Г.А. Гамбурцева (1955 г.) *И.П. Косминская* возглавила группу ГСЗ в Институте физики Земли РАН. Под руководством Е.И. Гальперина и *И.П. Косминской* в 1956 г. на Каспийском море была разработана морская модификация метода ГСЗ, с помощью которой впоследствии были проведены исследования переходной зоны от Азиатского континента к Тихому океану по программе Третьего международного геофизического года. Этими экспедициями были открыты новые типы коры – переходные между континентальной и океанической – субокеаническая и субконтинентальная. В группу ГСЗ входили Л.С. Вейцман, Н.И. Давыдова, Ю.В. Тулина, Г.Г. Михота, Р.М.Кракишина, Г.А. Ярошевская. На основе полученных материалов была разработана оптимальная методика морских наблюдений и способы их интерпретации, изложенные в специальных монографиях [Аксенович и др., 1962; Строение..., 1964].

Применение метода ГСЗ на территории СССР в 60-е годы связано с открытием ранее неизвестных глубинных структур земной коры, имеющих мировое значение в развитии наук о Земле (глубоководные осадочные бассейны на континентах и в окраинных морях, глубочайшие корни гор, новые типы коры в переходных зонах [Винник, Давыдова, Косминская, 1978]).

С начала 70-х годов группа ГСЗ под руководством *И.П. Косминской* принимает активное участие в международных проектах по изучению пассивных и активных окраин: NASP (Северо-Атлантический сейсмический проект – научно-исследовательское судно НИС “Михаил Ломоносов”), Фарерско-Исландский порог (15й рейс НИС “Академик Курчатов”) и Советско-американо-японский проект эксперимент по анизотропии в северо-западной части Тихого Океана (49 рейс НИС “Витязь”). Одновременно по инициативе *И.П. Косминской* в Узбекистане ставятся опытные работы по изучению динамических параметров полей и закрытых отраженных волн от границы М для изучения ее тонкой структуры.

В 1960–1970 гг. *И.П. Косминская* – член Международного комитета по верхней мантии, в котором возглавляет секцию “Активные окраины”. В 1968 году по инициативе организован первый международный симпозиум экспертов по взрывной сейсмологии (ГСЗ) и создана международная секция КСКИ (сейсмология контролируемых источников), которая в 1993 году в Москве отметила 25-летие своей деятельности. В 1968–1983 гг. она – председатель и сопредседатель секции КСКИ в Международной ассоциации физики недр Земли.

В 1970–1980 гг. *И.П. Косминская* – член секции “Пассивные окраины” Геодинамического проекта, участник и конвинер многих симпозиумов Международного геофизического и геодинамического союза.

В 1964–1976 гг. Ирина Петровна – председатель секции ГСЗ Европейской сейсмологической комиссии (ЕСК).

В 1974–1978 гг. *И.П. Косминская* является представителем АН СССР в Проекте глубинного бурения; ею подготовлены материалы по обоснованию скважин в Охотском море и вблизи Южных Курил.

В 1979 г. по инициативе *Косминской* лаборатория ГСЗ ИФЗ (руководитель С.М. Зверев) участвует в международном проекте Феннолора (Балтийский щит). С тех пор Институт физики Земли систематически работает с финскими сейсмологами на основании официального соглашения между АН СССР (РАН) и АН Финляндии. Советской группой руководила *И.П. Косминская*. В 1990 г. ее деятельность была отмечена почетной медалью Хельсинского университета в связи с его 300-летием.

С 1976 по 1986 гг. *И.П. Косминская* – членом редколлегии журнала “Journal of Geophysics”.

*И.П. Косминская* награждена медалями “За доблестный труд в Великой Отечественной войне” и “За трудовую доблесть”.

Особую роль в формировании научного мировоззрения Косминской сыграла учеба во МГРИ, в котором *“собралась блестящая плеяда преподавателей, геологов и геофизиков. Лекции читали А.И. Заборовский – создатель электроразведки, Л.М. Альпин – теоретик, восходящая звезда – Г.А. Гамбурцев, геологи Н.С. Шацкий, Е.В. Милановский, В.И. Лучицкий и др. ... Выпуск 40–41 гг. был выпуском, воспитанным этой профессурой. Мы были горды, что участвуем в создании прикладной геофизики”*.

Первый опыт самостоятельной научной работы И.П. Косминская приобрела в отделе сейсморазведки Института теоретической геофизики АН СССР (ныне ИФЗ РАН) (1940-1951), “где в то время трудился очень слаженный и чрезвычайно плодотворно работавший коллектив, костяк которого составляли такие выдающиеся представители школы Г.А. Гамбурцева, как И.С. Берзон, Ю.В. Ризниченко, А.М. Епинатьева, И.П. Пасечник, Е.В. Карус и другие” (Ю.В. Тулина, ИФЗ РАН).

Более подробно о жизненном пути Косминской и о замечательном союзе выдающихся геофизиков можно прочесть в книге “Ю.В. Ризниченко + И.П. Косминская” [2015].

В 1960-е годы результаты ГСЗ оказали огромное влияние на эволюцию представлений о коре и мантии. Приведем выводы из докторской диссертации Косминской.

*Кора материков как бы стала толще, а скорости в ней больше, чем предполагалось ранее. В то время как годограф Джеффриса–Буллена вычислен для коры толщиной 33 км, а для платформ глубина границы М принималась равной 25–30 км, по новым данным средняя толщина коры материков равна 40 км, а кора платформ и щитов 35–40 км. Существенно изменилось представление об осадочном слое в коре. Выявлены районы, где толщина этого слоя сравнима с толщиной консолидированной коры. На смену однослойной и двухслойной моделям коры пришла многослойная неоднородно-слоистая модель. Изменились представления о границе М как об универсальной резкой границе между корой и мантией. Изменились представления о верхах мантии (первые 20–60 км под границей М). Мантия, в противоположность прежним представлениям о ее большей однородности и гомогенности по сравнению с корой, также оказалась слоистой.*

Косминская отмечает, что *“в методическом отношении ГСЗ можно рассматривать, как глубинную сейсморазведку. Специфика ГСЗ обусловлена главным образом особенностями изучаемой среды... Интерпретация данных ГСЗ выходит за рамки геометрических представлений о глубине и рельефе сейсмических границ и требует для объяснения их природы изучения процессов, связанных с состоянием и поведением глубинного вещества в условиях высоких давлений и температур. К ним относятся, в частности, фазовые переходы разных видов”* (см. также [Ризниченко, Косминская, 1963]).

“Развитая Е.И. Гальпериным и И.П. Косминской с сотрудниками морская модификация метода ГСЗ легла в основу постановки сейсмических работ во всем мире. В 1950-е годы под руководством И.П. Косминской были проведены широкие исследования ГСЗ на Тихоокеанской окраине Азии, одни из самых первых в мире. На основе вариаций мощностей и скоростных разрезов коры здесь были выявлены структуры с корой континентального, океанического, субконтинентального и субокеанического типа. Соотношение структур позволяло говорить о надвигании континентального блока на океанический, происходящего в зоне Курило-Камчатского желоба. В пределах окраины и островной дуги предполагалось последовательное разрастание континентальных площадей за счет поступления магматического материала с глубины. Вместе с книгой [Глубинное..., 1971], подготовленной при активном участии Ирины Петровны, материалы этих сейсмических работ до сих пор являются опорными при интерпретации системы тектонических структур активной окраины” (Е.Н. Меланхолина, ГИН РАН).

Занимаясь проблемами изучения неоднородности земной коры и верхней мантии, природы их тонкой структуры как источника интерференции сейсмических волн, И.П. Косминская активно поддерживала идею аппроксимации реальных сложнодислоцированных сред наиболее общим классом моделей гетерогенного типа. В 1970-е годы

модель случайной пачки, разработанная в лаборатории ГСЗ в сотрудничестве с отделом сейсморазведки, руководимым И.С. Берзон, была успешно применена для объяснения тонкой структуры границы М и ряда границ в коре [Косминская, Давыдова, 1980]. “Одним из главных результатов исследований интерференционной волновой картины для морского ГСЗ было выявление так называемого “выпадающего” слоя в низах коры (этот слой “выпадал” из первых вступлений, т.е. практически не прослеживался там, и сменялся интенсивной волной от Мохо). Увидеть его можно было при детальном анализе амплитуд фаз интерференционной группы и при комплексировании ГСЗ с МОВ. Экспериментальное подтверждение было получено в советско-японском эксперименте в Тихом океане (эксперимент “Дуэт”, судно “Витязь”). Выявление этого слоя меняло ранее существовавшее представление о принципиальном различии коры континентов и океанов, т.е. о геодинамике планеты” (Н.К. Капустян, ИФЗ РАН).

В 1980-е годы И.П. Косминская выполнила большую работу по систематизации научного архива Ю.В. Ризниченко (1911–1981) и руководила подготовкой к печати его избранных трудов “Проблемы сейсмологии”, изданных в 1982 г. на русском языке и в 1992 г. на английском.

Одновременно Косминская принимала активное участие в подготовке материалов для геолого-геофизического атласа Тихого океана [Глубинное..., 1987; Международный..., 2003]. В этом проекте свою главную задачу Ирина Петровна видела в том, чтобы максимально четко представить методическую сторону работ по ГСЗ, дав тем самым возможность оценить степень достоверности полученных данных по каждому профилю. Высоко оценивая заслуги И.П. Косминской, коллеги-океанологи, называвшие ее “выдающейся русской исследовательницей морей и океанов”, предложили дать имя Косминской разлому, сопряженному с подводным хребтом Лиджети близ южного окончания Южно-Сандвичевой островной дуги [Удинцев и др., 1998].

Выдающиеся организаторские способности И.П. Косминской наиболее ярко проявились в 1962 г., когда при Совете по комплексным исследованиям земной коры и верхней мантии была создана секция ГСЗ. “Цель секции заключалась в обсуждении полевых материалов и применяемых способов обработки и интерпретации данных. Наибольший интерес всегда вызывали сейсмограммы и разрезы с аномальными характеристиками. Работа секции была активно поддержана Н.Н. Пузыревым и С.В. Крыловым, под руководством которых в Сибири проводились региональные исследования земной коры и верхов мантии Западной Сибири, Байкальской рифтовой зоны, Якутской кимберлитовой провинции” (В.Д. Суворов, ИНГГ СО РАН).

“В Секции ГСЗ были собраны все специалисты, работавшие в этой области, независимо от организации, должности или личных привязанностей. Ирина Петровна обладала удивительным даром объединять людей, практически несовместимых. В основе этого дара было уважительное отношение ко всем людям и терпимость к их слабостям. На начальном этапе становления ГСЗ как метода неясных проблем было много, а возможностей их разрешения – как экспериментальных, так и вычислительных – мало. Поэтому постоянно велись жаркие, часто непримиримые споры о природе волн, о методах их интерпретации, о структуре земной коры. Но Ирина Петровна с её внутренней тактичностью умела вводить эти споры в рамки научной дискуссии и не допускать развала “ГСЗешного” сообщества” (Н.И. Павленкова, ИФЗ РАН).

Высоко ценил Ирину Петровну всегда поддерживавший ГСЗ Владимир Владимирович Белоусов (1907–1990), который вместе с ней пытался осмыслить результаты ГСЗ и использовать их в своих тектонических реконструкциях. Не меньшим авторитетом и уважением пользовалась Косминская у ученых Сибирского отделения АН СССР, с которыми поддерживала тесные научные связи – с А.С. Алексеевым, Н.Н. Пузыревым, Э.Э. Фотиади, С.В. Крыловым. На протяжении многих лет И.П. Косминская активно

сотрудничала с украинскими геофизиками В.А. Чекуновым, В.Б. Сологубом, коллективами Уральского отделения Академии наук, Кольского филиала и др.

“ В 1968 г. по инициативе И.П. Косминской было принято решение об организации Международной Комиссии по сейсмологии контролируемых источников (КСКИ). Ирина Петровна и С. Мюллер (Германия) долгое время были ее сопредседателями. На первое совещание КСКИ приехали все ведущие сейсмологи и “ГСЗешники” мира. В то время в СССР уже были отработаны тысячи километров профилей ГСЗ с непрерывными системами наблюдений. За рубежом подобные работы только начинались и одиночными сейсмостанциями регистрировались в основном промышленные взрывы. Многие вопросы теории и интерпретации в СССР к этому моменту уже были решены, что для зарубежных исследователей стало открытием.” (Н.И. Павленкова, ИФЗ РАН).

Последние годы жизни И.П. Косминской, называвшей 70–80-е годы прошлого столетия золотой порой ГСЗ, были связаны с изучением Балтийского щита. Данные ГСЗ, полученные при участии И.П. Косминской на профилях ФЕННОЛОРА, ПОЛЯР, БАЛТИК, СВЕКА, впоследствии стали основой для крупномасштабных международных сейсмологических проектов SVEKALAPKO и POLARNET на Балтийском щите.

“Ирину Петровну всегда отличала неутомимая жажда к работе. Она обладала исключительной честностью, беспредельной требовательностью и скрупулезностью в представлении всех фактов, отчетных материалов, построений, геолого-геофизических выводов. Анализируя массу сейсмической, геологической и комплексной геофизической информации, она стремилась к предельной ясности и обоснованности своих и коллективных выводов – это была школа Косминской” (Н.В. Шаров, Институт геологии, Карельский научный центр РАН).

И.П. Косминской воспитано целое поколение специалистов в области структурной сейсмологии; она была официальным оппонентом 25 кандидатских и докторских диссертаций. Научное наследие И.П. Косминской включает более 120 научных трудов, среди которых переведенная на английский язык фундаментальная монография “Метод глубинного сейсмического зондирования земной коры и верхов мантии” [1968].

### Вместо заключения

Несмотря на несомненные успехи в развитии методики и техники наблюдений, вопросы интерпретации данных глубинных сейсмических исследований остаются предметом непримиримой полемики. Проблемы возникают при сопоставлении разрезов ГСЗ, глубинного МОГТ и данных сверхглубокого бурения по Уральскому региону [Дружинин и др., 2015], результатов детального профилирования методом ГСЗ и метода приемных функций в Средней Азии (В.Д. Суворов, устное сообщение).

Неоднозначность построения скоростного разреза по одним и тем же данным связана с использованием разных фрагментов волнового поля, первых и/или последующих наблюдаемых фаз записи [Тулина, Бурмин, Шемелева, 2011]. В связи с чем “необходимо коллективное обсуждение, численное моделирование сложных сред, дополнительный анализ сейсмических данных по районам сверхглубоких скважин и проведение целенаправленных экспериментов. Основное направление – уменьшение неоднозначности построений, желательно без увеличения стоимости исследований. Во времена активной деятельности секции ГСЗ во главе с И.П. Косминской эти проблемы обсуждалась неоднократно, в том числе с зарубежными коллегами” (В.С. Дружинин, Институт геофизики, УрО РАН).

В 1994 г. Правительством РФ было принято решение о создании Государственной сети опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин на территории основных минерально-сырьевых провинций России [Сержан-

тов и др., 2013]. “Отмечая 100-летний юбилей И.П. Косминской, можно без сомнения утверждать, что создание Государственной сети опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин в России является лучшим продолжением региональных исследований, выполненных во второй половине прошлого века под ее руководством и при личном участии” (В.Д. Суворов).

Ирина Петровна Косминская была крупным ученым, обладавшим умением вникать в детали каждого отдельного исследования. Благодаря этим качествам, природному такту, личному обаянию и оптимистическому отношению к жизни И.П. Косминская стала выдающимся организатором науки, внесшим большой вклад в развитие отечественной и мировой геофизики второй половины XX века.

### Благодарности

Автор признателен журналу “Геофизические исследования” за предоставленную возможность публикации данной статьи и выражает искреннюю благодарность В.С. Дружинину, Н.К. Капустян, Е.Н. Меланхолиной, Н.И. Павленковой, В.Д. Суворову, Ю.В. Тулиной, Н.В. Шарову за участие в ее подготовке.

### Литература

- Аксенович Г.И., Аронов Л.Е., Гагельянц А.А., Гальперин Е.И., Зайончковский М.А., Косминская И.П., Кракшина Р.М. Глубинное сейсмическое зондирование в центральной части Каспийского моря. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 152 с.
- Винник Л.П., Давыдова Н.И., Косминская И.П. Строение тектоносферы по сейсмическим данным // Тектоносфера Земли. М.: Наука, 1978. С.179–187.
- Косминская И.П., Давыдова Н.И. Сейсмические модели // Сейсмические модели литосферы основных геоструктур территории СССР. М.: Наука, 1980. С.11–15.
- Глубинное сейсмическое зондирование земной коры Сахалино–Хоккайдо–Приморской зоны / Ред. С.М. Зверев, Ю.В. Тулина. М.: Наука, 1971. 286 с.
- Глубинное сейсмическое зондирование. Данные по Тихому океану / Ред. И.П. Косминская, А.Г. Родников, Г.И. Семенова. М.: МЦД, 1987. 104 с.
- Дружинин В.С., Мартышко П.С., Осипов В.Ю., Начапкин Н.И. Тектонодинамическая модель кристаллической коры Урала и сопредельных территорий // Докл. РАН. 2015. Т. 463, № 2. С.183–186.
- Косминская И.П. Метод глубинного сейсмического зондирования земной коры и верхов мантии. Развитие основ метода. М.: Наука, 1968. 227 с.
- Международный геолого-геофизический атлас Тихого океана / Ред. Г.Б. Удинцев, МОК (ЮНЕСКО), РАН, ФГУП ПКО “Картография”, ГУНиО. М.: СПб., 2003.
- Ризниченко Ю.В., Косминская И.П. О природе слоистости земной коры и верхней мантии // Докл. АН СССР. 1963. Т. 153, № 2. С.323–325.
- Сейсмические модели литосферы основных геоструктур территории СССР / Ред. С.М. Зверев, И.П. Косминская. М.: Наука, 1980. 183 с.
- Сержантов Р.Б., Кашибин С.Н., Эринчек Ю.М., Татаринцев В.Ю., Мильштейн Е.Д. Глубинное геолого-геофизическое изучение недр России: современное состояние и основные задачи // Региональная геология и металлогения. 2013. № 53. С.26–31.
- Строение земной коры в области перехода от Азиатского континента к Тихому океану / Ред. Е.И. Гальперин, И.П. Косминская. М.: Наука, 1964. 308 с.
- Тулина Ю.В., Бурмин В.Ю., Шемелева И.Б. К проблеме “неоднозначности интерпретации” наблюдаемых данных глубинного сейсмического зондирования // НТР. 2011. Т. 90, № 3. С.14–39.
- Удинцев Г.Б., Шенке Г.В., Кольцова А.В., Князев А.Б. Внедряющиеся и рассеянные рифты западной Антарктики // Океанология. 1998. Т. 38, № 6. С.901–910.
- Ю.В. Ризниченко + И.П. Косминская. Семья ученых-геофизиков. Статьи, воспоминания / Отв. ред. О.Ю. Ризниченко. М.: Наука, 2015. 488 с.