

Воспоминания об академике С.А. Федотове

Академик РАН Сергей Александрович Федотов – учёный-геофизик, сейсмолог и вулканолог с мировым именем, выдающийся организатор в науке. Большая часть его жизни связана с исследованиями на Камчатке и Курилах – слабо изученных окраинах страны. Вынесенные в начале эпитафии, в наибольшей степени характеризуют научную и жизненную позицию Сергея Александровича, а многое из его рассказов о детстве, учёбе, дальнейшей научной работе и организаторской деятельности служат тому примером. Возможно, оглядываясь на прошлое, он, уже заслуженный учёный с мировым именем, оценивал, насколько его жизнь, научные и практические достижения были предопределены отношениями в семье, укладом жизни до и после войны, первыми жизненными задачами и научными успехами.

Сергей Александрович Федотов родился 19 марта 1931 года в Ленинграде в семье потомственных интеллигентов. Его мать была врачом-рентгенологом, а отец – директором завода, экономическим советником миссии СССР за границей, заведовал кафедрой организации производства в политехническом институте. Его дед, тоже Сергей Александрович Федотов, до революции был редактором Русского телеграфного агентства при Государственной Думе, затем журналистом, а на склоне лет был избран в число троих членов Суда чести ТАСС. Годы блокады во время войны его родители провели в Ленинграде, а сына успели отправить в Москву одним из последних поездов. Благодаря небольшому росту мальчика смогли запереть в окно вагона, переполненного людьми.

В те дни книги стали дефицитом – их использовали для хозяйственных нужд вместо бумаги. Но юному Сергею повезло: он приобрёл одну из последних книжек, ... она была посвящена палеонтологии и геологии. Как позже рассказывал Сергей Александрович, именно эта книга помогла ему выбрать профессию.

В 1948 году после окончания московской средней школы Сергей Александрович стал студентом Геологического факультета главного университета Советского Союза – МГУ. Он выбрал профессию геолога, пожалуй, самую востребованную для необъятной страны с безграничными запасами полезных ископаемых.

Завершив учебу в 1953 году с дипломом по специальности «Геофизические методы разведки» Сергей Александрович поступил в аспирантуру Института Физики Земли Академии наук СССР, а в 1957 году продолжил научную карьеру в этом же институте в должности сотрудника лаборатории Инженерной сейсмологии. Через год Сергей Александрович сделал первый важный самостоятельный шаг в научной карьере каждого исследователя: защитил диссертацию на тему «О кинематических и динамических особенностях волн, преломлённых на криволинейных границах», и в 1958 году, в 27 лет, ему была присуждена учёная степень кандидата физико-математических наук.

Конец 50-х годов – это эпоха мощного подъёма науки и техники в стране, стремительно преодолевавшей послевоенную разруху – время безграничных возможностей для увлечённых наукой молодых людей. И, пожалуй, самой важной вехой в жизни Сергея Александровича Федотова, как молодого учёного, стал 1957 год – время мощного подъёма науки в стране. В этом году был запущен первый искусственный спутник Земли и образовано Сибирское отделение Академии наук.

В том же 1957 году начались обширные работы по программе Международного геофизического года. В рамках этого проекта Сергею Александровичу предложили взяться за организацию детальных сейсмологических наблюдений на Южных Курильских островах, до того практически неизученных сейсмологами. Он уже имел опыт подобных работ на территории Средней Азии, Западной Украины и Азербайджана. Но променять комфорт и насыщенную научную и культурную жизнь столицы на бытовые трудности провинции способны только самые увлечённые. Он, не раздумывая, согласился: возможность стать первопроходцем в ещё молодой науке Советской страны считалось великой честью!

На Курилах ему довелось не только изучать необузданную стихию земных недр, но и встретиться с ней лицом к лицу в одном из самых ярких её проявлений: в 1958 году его отряд оказался вблизи эпицентра Итурупского землетрясения.

Много лет спустя Сергей Александрович со свойственным ему юмором, рассказывал в деталях об этом дне, в канун дня Октябрьской революции – важнейшего праздника Советской страны. Накануне, его более опытные сотрудники, желая его как следует отметить праздничный день, с полной серьёзностью объявили ему, ещё совсем молодому начальнику, что в этот знаменательный день сети сейсмических наблюдений отключают по всей стране. И он им поверил! Сейсмостанции были остановлены, и конечно же, не записали момент землетрясения! Но главное было впереди – всю мощь стихии они испытали на себе. В первые мгновения землетрясения Сергей Александрович, занимаясь на улице колкой дров, не мог понять, что происходит. Но ощутив нарастание колебаний земли, едва не сбивающих с ног, увидев просвет между подпрыгивающими брёвнами домика, он понял, что это было мощнейшее землетрясение! Потом в земле стали открываться и закрываться трещины...

Когда прекратило трясти, стало ясно, что после столь сильного землетрясения может прийти волна цунами. Надо было предупредить людей в посёлке на бере-



С.А. ФЕДОТОВ. Толбачик, август 2000 год

гу. Телефон не работал, пришлось преодолевать несколько километров бегом.

– Уже на берегу почувствовал что-то скользкое под ногами, – вспоминает Сергей Александрович. – Смотрю вниз, а на земле 30-сантиметровый слой креветок. Оглянулся вокруг: деревянные дома наполовину тёмные. Значит, первая волна уже была. Ну, а вторая волна едва не смыла меня...

Военное командование вызвало Сергея Александровича для объяснений, полагая что он заблаговременно не предупредил об этом землетрясении, фактически сорвав этим торжественное мероприятие: первые толчки землетрясения пришлось как раз в момент построения военных для традиционного парада. Ему пришлось прочитать для военных лекцию о вулканах, землетрясениях, о том, что мировая наука до сих пор не может их предсказывать. Военные отнеслись с пониманием к работе учёных и всё обошлось.

Пожалуй, именно эти впечатления, о которых Сергей Александрович не раз с теплотой рассказывал, стали той отправной точкой, когда он окончательно решил посвятить себя исследованиям на Дальнем Востоке.

Другой случайный, но как оказалось немаловажный факт, уже в те годы характеризующий Сергея Александровича Федотова как увлечённого и целеустремлённого исследователя: незадолго до этого землетрясения руководство Института физики Земли по окончании годовых плановых работ предложило ему как начальнику отряда начать свёртывание работ. Но как же так? Работы только начаты, получены первые результаты, и нужно всё завершить? И Сергей Александрович отказался выполнять распоряже-

Наука требует от человека всей его жизни. И если бы у вас было бы две жизни, то и их бы не хватило вам. Большого напряжения и великой страсти требует наука от человека.

И. П. Павлов

Торопитесь делать добро!

Ф. П. Гааз

ние. Тогда из института пришёл ультиматум: отныне все работы оплачиваются из его зарплаты! Но природа вмешалась вовремя: оказалось, что заинтересовавший Сергея Александровича и его сотрудников сейсмологический материал, оказался действительно уникальным – это были записи форшоков готовящегося землетрясения. И вскоре после землетрясения, после первого запроса из института о состоянии отряда и людей поступило распоряжение сначала о продолжении работ, а затем и об их расширении. И это было совершенно обосновано.

Сейсмологические наблюдения на Дальнем Востоке страны до начала 60-х годов прошлого века велись в основном только сетью сейсмических станций других регионов, поэтому из-за удалённости не отличались точностью и полнотой. Именно Сергею Александровичу Федотову в числе первых пришлось проявить себя в роли организатора детальных сейсмологических наблюдений в регионе, решая при этом не только научно-технические и кадровые, подчас очень сложные, но и хозяйственно-бытовые задачи, находить понимание и поддержку местных органов власти.

И всё это ему, несмотря на молодость, блестяще удалось. Организовав в 1958–1964 годах систему детальных сейсмологических наблюдений на Южных Курильских островах, он с 1961 года использовал этот первый свой опыт при организации сети детальных сейсмологических наблюдений уже на Камчатке, где к тому времени велись наблюдения небольшим числом сейсмических станций. В результате его активной организаторской деятельности в кратчайшие сроки появилась растянувшаяся на тысячи километров сеть сейсмических станций, которая вскоре позволила получить каталоги землетрясений, превосходящие каталоги землетрясений сейсмической сети Японии. Под его руководством были также созданы методики обработки данных, разработана энергетическая классификация камчатских землетрясений, которая используется до настоящего времени практически без изменений.

К середине 60-х годов объём накопленных данных по сейсмичности Курил, Камчатки и Северо-Восточной Японии, их анализ, а также полевые наблюдения позволили выйти на качественно новый уровень: в 1965 году С.А. Федотов создаёт уникальный метод долгосрочного прогноза сильнейших землетрясений. Это была работа мирового уровня, которую он всегда и по праву считал одним из своих главных достижений. А развитие и практическое применение этого метода для обеспечения сейсмобезопасности в регионе в дальнейшем стало одной из важнейших практических задач всей его жизни.

В ноябре 1970 года С.А. Федотов за достигнутые научные и организаторские успехи избран членом-корреспондентом АН СССР по специальности «Геофизика», а с начала 1971 года по предложению Президиума Академии наук назначен директором Института вулканологии Дальневосточного научного центра АН СССР, став преемником первых руководителей института: вулканологов Бориса Ивановича Пийпа и Георгия Степановича Горшкова.

Сергей Александрович, серьёзно увлёкшись вулканологией, продолжил исследования этих выдающихся учёных, развил их, а также, отчётливо понимая неразрывную связь сейсмологии и вулканологии, привнёс в исследования института свой опыт и организационный талант сейсмолога. Вскоре в Институт вулканологии перешла Тихоокеанская сейсмическая экспедиция Института физики Земли АН СССР, а также сеть её региональных сейсмических станций. Это позволило организовать специализированные лаборатории сейсмологии и сейсмологии.

В этот же период в институте разработали сейсмическую и телеметрическую аппаратуру, приступили к светодальномерным геодезическим наблюдениям на созданных для этого полигонах. Это позволило наладить на Камчатке работы по краткосрочному прогнозу землетрясений в тесном сотрудничестве с Институтом физики Земли.

В целом были усилены многие виды проводимых Институтом вулканологии наблюдений, включая геофизические и геохимические. Численный состав его сотрудников заметно увеличился, для них строились новые жилые дома. Институт как магнит, притягивал талантливых выпускников лучших вузов страны, связавших затем свою жизнь с институтом, а многие из них работают в нём по сей день.

Очень скоро под руководством Сергея Александровича Федотова, в продолжение достижений его выдающихся предшественников, Институт вулканологии стал крупнейшим вулканологическим учреждением мира и одним из лучших институтов Академии наук на Дальнем Востоке.

Сергей Александрович Федотов многое в своей жизни считал несчастливым. Несчастливым, вероятно, был и следующий подарок природы не только Институту вулканологии, но и, несомненно, всей отечественной науке. В 1975 году на севере Камчатки началось Большое трещинное Толбачинское извержение (БТТИ), вошедшее в пятёрку самых крупных извержений этого типа в мире за историческое время. Сотрудники Института вулканологии смогли не только предсказать его начало, используя, в том числе сейсмические методы, но и были готовы технически и организационно к его комплексному исследованию.

Первая группа учёных института высадилась на вертолёте рядом с местом предполагаемого извержения за 5 дней до его начала. Сергей Александрович возглавил полевые и научные работы, продолжавшиеся почти полтора года. Об объёме проводимых работ свидетельствует тот факт, что в летние месяцы численность этой экспедиции под названием «Извержение» достигала 150 человек. По исследованию БТТИ опубликовано свыше 170 научных работ, сделан целый ряд научных открытий, а в целом эти исследования Института вулканологии получили признание не только в СССР, но и во всём мире. Комплексный подход, включающий самый широкий спектр наблюдений, отработанный Толбачинской экспедицией, в дальнейшем применялся не только на Камчатке при изучении нескольких извержений гигантского Ключевского вулкана, а также уникального одновременного извержения Карымского вулкана и кальдеры Академии наук, но и на Северных Курильских островах при изучении извержения вулкана Алаид.

Сергей Александрович был не только учёным и организатором науки, но человеком неравнодушным к природе Камчатки и её жителям. С 1971 по 1987 год он был депутатом Областного совета и пользовался этими полномочиями, чтобы помочь научным институтам и образовательным учреждениям региона.

Об авторитете Института вулканологии и принципиальной гражданской позиции его директора – Сергея Александровича Федотова – свидетельствует следующий факт, который он неоднократно вспоминал.

В начале 70-х годов правительство СССР утвердило масштабный проект по строительству атомной электростанции на Камчатке, и уже к 1975 году его согласовали практически все контролируемые строительством ведомства. Была проложена бетонная дорога и подготовлена площадка под фундамент АЭС на окраине Петропавловска-Камчатского. Не хватало лишь подписи директора Института вулканологии, заверяющей оценку сейс-

мической безопасности строительства. Но Сергей Александрович Федотов, будучи одним из немногих беспартийных директоров научных институтов, не поддавшись авторитетному давлению и категорически отказавшись подписывать разрешение на строительство на 10-балльной по расчётным сейсмическим условиям площадке. Как профессионал, он предложил в качестве компромисса вариант с более безопасным размещением АЭС. Что могло случиться в недалёком будущем, наглядно иллюстрирует экологическая катастрофа в районе атомной станции Фукусима после мощного землетрясения в Японии 11 марта 2011 года.

В 60-х и 80-х годах прошлого века обсуждались и другие рискованные в условиях ранней камчатской природы проекты – строительство сначала Кроноцкой, а затем и Жупановской гидроэлектростанций. Сотрудниками Института вулканологии была проделана большая работа по определению сейсмической опасности этой территории, и то, что это строительство до сих пор не состоялось – большая доля заслуги как института, так и его директора – Сергея Александровича Федотова.

В середине 70-х годов прошлого века авторитет Института вулканологии и его директора в научном мире был настолько велик, что в 1975 году Сергея Александровича Федотова избрали вице-президентом Международной Ассоциации Вулканологии и Химии Земных Недр (МАВХНЗ, англ. IAVCEI), а в 1979 году – её президентом. Такой же чести за выдающиеся вулканологические ис-



Сергей Александрович ФЕДОТОВ

следования среди советских учёных был удостоен только его предшественник на посту директора Института вулканологии – выдающийся вулканолог Георгий Степанович Горшков, чьи исследования в стенах института С.А. Федотов не только сохранил на мировом уровне, но развил и преумножил.

В 1992 году за выдающиеся научные и научно-организаторские успехи С.А. Федотов был избран действительным членом РАН по специальности «Геология, геофизика». Искренне, по-человечески гордясь успехами института и своими научными достижениями, Сергей Александрович, полушутя, но с отчётливой верой в предназначения судьбы, совершенно справедливо отмечал, что он – второй академик в России, получивший это высокое звание за исследования на Камчатке, и уточнял – первым был Степан Петрович Крашенинников. В этих словах проявлялась его вера в то, что заниматься наукой – пожалуй, самое великое счастье, которое даётся судьбой человеку, но заслужить его возможно только целеустремлённостью и неустанным трудом.

Работа с утра до позднего вечера, сначала в институте, а затем в своём домашнем кабинете была обычной для Сергея Александровича Федотова, но «кабинетным» учёным он не был. Общение и обмен научными идеями с коллегами всегда было важным смыслом его жизни. Он активно участвовал во множестве международных семинаров, конгрессов, ассамблей, симпозиумов. И все годы своей научно-организаторской деятельности при поездках на конгрессы, в научных командировках Сергей Александрович Федотов со свойственной настоящим учёным любознательностью знакомился с

неизвестными ему ранее сейсмическими и вулканическими областями, а также с опытом и результатами научных исследований в разных частях мира: в Северной и Южной Америке, Японии, Италии, Мексике, Исландии и др.

Уделяя огромное внимание своему новому увлечению – вулканологии, Сергей Александрович Федотов никогда не забывал и своего первого опыта в качестве учёного-сейсмолога. Прекрасно сознавая реальный уровень опасности Камчатских и Курильских землетрясений, собрав вместе с коллегами большой исторический материал о землетрясениях Камчатки, он, пожалуй, первым поднял вопрос о сейсмозащите населения и инфраструктуры активно развивающегося в 60-е, 70-е годы прошлого века областного центра – г. Петропавловск-Камчатский, как одного из форпостов страны на Дальнем Востоке. Он всегда считал, что этот вопрос имеет уровень государственной важности. Как он неоднократно отмечал, поднимая этот вопрос, опасность землетрясений Камчатки длительное время недооценивалась сейсмологами так как до конца 40-х годов прошлого века на Камчатке не было каменного строительства, а добротно сложенные деревянные постройки камчатцев сравнительно легко переносили даже 9-балльные землетрясения, реальную опасность которых показали результаты уже первых детальных сейсмологических наблюдений.

Всё изменилось с началом активной каменной застройки города – понадобились новые нормы сейсмостойкого строительства, так как застройка каменными зданиями с расчётом на 8-балльные, и тем более, ради экономии – 7,5-балльные землетрясения, не могла обеспечить необходимую сейсмостойкость жилья и инфраструктуры города.

Хотя первые обоснованные оценки сейсмической опасности для Камчатки при ведущей роли в них сначала Тихоокеанской экспедиции, а затем и Института вулканологии были получены уже к концу 60-х годов, тем не менее, их как норму для строительства, приняли только в 1978 году. И ещё позднее были созданы первые проекты сейсмостойких домов для массового строительства на Камчатке. Таким образом, значительная часть города Петропавловск-Камчатский к середине 80-х годов не имела необходимой сейсмозащиты.

К этому времени на основе данных долгосрочного сейсмического прогноза стало совершенно ясно, что район города Петропавловск-Камчатский является одним из самых сейсмоопасных в регионе. Первое обращение по этому поводу к руководству страны было составлено Сергеем Александровичем Федотовым в 1985 году. В нём отмечалась необходимость скорейшего проведения работ по сейсмоусилению до необходимого уровня жилого и объектов инфраструктуры города.

Отчётливо осознавая факт слабой защищённости города от сильнейших в регионе землетрясений, Сергей Александрович Федотов неоднократно подчёркивал, в том числе при встрече с руководством на самых разных уровнях власти, что в странах и регионах с высокой сейсмической опасностью к числу приоритетных задач относятся научные, научно-прикладные сейсмологические исследования, а также практические шаги по предотвращению и уменьшению грозящих ущерба и потерь. Это в полной мере он относил к Камчатке.

Авторитет Института вулканологии и огромный личный опыт его директора – Сергея Александровича Федотова как сейсмолога, а также его принципиальность и целеустремлённость при поддержке Академии наук позволили решить крайне трудную, но важнейшую задачу: поднять вопрос обеспечения сейсмобезопасности на Камчатке на государственном уровне.

Разрушение СССР нанесло тяжёлый удар отечественной сейсмологии. Единая сеть сейсмических станций (ЕССН) СССР, которой руководил Институт физики Земли АН СССР, сразу потеряла большинство своих станций, которые размещались в бывших союзных республиках. Однако, несмотря на глубокий упадок экономики нашей страны, на десятикратное сокращение ассигнований на науку, в 90-х годах на Камчатке удалось сохранить детальные сейсмологические на-

блюдения. Продолжалось успешное развитие и рост сети сейсмических станций, особенно радиотелеметрических. Непрерывно улучшались их оснащение и система обработки получаемых данных.

Этому способствовал ряд важных обстоятельств. Камчатская региональная сеть сейсмостанций, созданная при детальных сейсмологических исследованиях на Камчатке, была одной из лучших в СССР. За тридцать лет выросло много хороших исследователей, инженеров и техников. Российская академия наук, администрация Камчатской области, Госкомитет по науке и технике, Министерство по чрезвычайным ситуациям и правительство знали тревожные долгосрочные сейсмические прогнозы для Камчатки и потому поддерживали сейсмологические исследования.

В итоге, в трудных условиях 90-х годов был достигнут ряд больших успехов. Среди главных: сохранение и развитие сети наблюдений и обработки их данных, правительственные долгосрочные сейсмические прогнозы двух сильнейших землетрясений этого времени – Шикотанского землетрясения 4 октября 1994 года и Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 года, краткосрочный прогноз извержения в Карымском вулканическом центре 2 января 1996 года.

Предвидя неминуемую сейсмическую опасность для населения Петропавловска-Камчатского, академик Сергей Александрович Федотов, не прекращая обширных научных исследований, продолжает неустанный организационный труд по защите населения Камчатки от грозящей сейсмической опасности. В самые последние годы эта работа ведётся им на самом разном уровне: многочисленные личные встречи с губернатором Камчатского края, руководством МЧС, полномочным представителем президента, обращения в ДВО РАН, ОНЗ РАН, в администрацию президента – всё это направлено на обеспечение и увеличение финансирования работ по обеспечению жильем зданиями и инфраструктуре города необходимой степени сейсмостойкости. Многие тысячи жителей г. Петропавловск-Камчатский в результате этих работ получили безопасное жильё.

Эту же работу он продолжает, являясь членом Рабочей группы при президенте РАН по анализу риска и проблем безопасности, а также Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска МЧС и РАН. Продолжает до самого конца своей жизни...

Свои выступления и статьи по поводу достижений Института вулканологии, Сергей Александрович Федотов неизменно завершал, отмечая и своих коллег, без которых эти достижения были бы невозможны. Оценка деятельности всех сейсмологов, которые длительное время успешно участвовали в детальных сейсмологических наблюдениях на Камчатке и внесли очень большой вклад в них потребовало бы очень большой статьи, тем не менее, опять же следуя Сергею Александровичу, вспоминаю о нём важно завершить перечислением хотя бы некоторых из отмеченных им коллег, это: П.И. Токарев, И.П. Кузин, А.М. Багдасарова, В.И. Горельчик, Н.А. Кузнецов, А.А. Гусев, Л.Б. Славина, В.Д. Феофилакт, Е.И. Гордеев, В.Н. Чебров, В.А. Гаврилов, В.В. Ящук, А.В. Викулин, А.А. Годзиловская, А.М. Кондратенко, Л.С. Шумилина, И.Г. Симбирева, В.М. Зобин, С.Д. Чернышёв, Т.С. Лепская, В.И. Левина и многие другие.

Также следуя Сергею Александровичу, отметим, что очень большую роль в сейсмологических исследованиях на Дальнем Востоке страны в годы становления работ и самую благожелательную поддержку впоследствии им оказывал Институт физики Земли в лице его руководства и сотрудников.

Алексей СОЛОМАТИН,
старший научный сотрудник
ИВиС ДВО РАН,
кандидат физико-математических наук,
бывший сотрудник Тихоокеанской экспедиции ИФЗ РАН
Сергей СОЛОВЬЁВ,
кандидат физико-математических наук,
бывший сотрудник Тихоокеанской экспедиции ИФЗ РАН

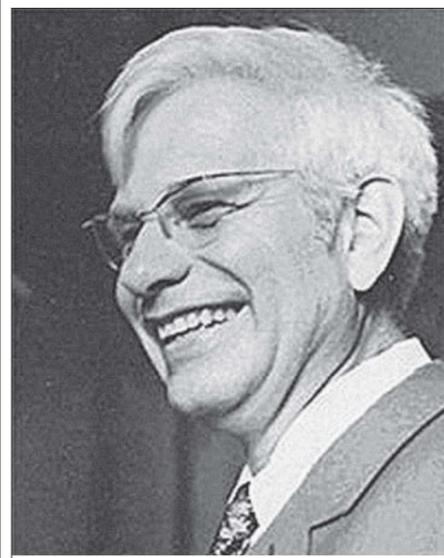
Памяти выдающегося учёного

Образовавшемуся в 2021 году побочному прорыву на склоне вулкана Ключевского на Камчатке присвоено имя выдающегося советского учёного Георгия Горшкова. Об этом сообщил директор Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН Алексей Юрьевич Озеров.

– Имена значимым вулканологическим событиям присваиваются решением учёного совета. Имена дают именно боковым прорывам, потому что они остаются навсегда. От верхних извержений уже через год не остаётся никаких следов. А боковые прорывы лежат на склоне, и для того чтобы идентифицировать их по отношению друг к другу, для вулканологии как науки, им присваиваются собственные имена.

Он отметил, что имя Георгия Горшкова дано новому прорыву для увековечения памяти выдающегося учёного, внёсшего колоссальный вклад в развитие вулканологии в нашей стране.

– При этом значительная часть научных достижений Георгия Степановича базировалась именно на изучении Ключевской



Георгий Степанович ГОРШКОВ

группы вулканов на Камчатке, – добавил директор института.

Оксана ГУСЕВА
г. Петропавловск-Камчатский

Наша справка: Георгий Степанович Горшков (1921–1975) – советский учёный, вулканолог, член-корреспондент АН СССР.

Первую научную работу об открытом им новом минерале индерборите опубликовал в 1941 году в возрасте 20 лет. В самом начале Великой Отечественной войны Георгий Горшков, прервав учёбу в университете, поступил добровольцем в Красную Армию. В боях под Москвой он был тяжело контужен и после демобилизации продолжил занятия в университете.

Георгий Горшков разработал новую теорию вулканизма, согласно которой состав и строение верхних частей мантии под океанами, континентами, островными дугами и океаническими хребтами различны: эти различия проявляются в существовании двух главных классов пород – континентального и океанического.

За выдающиеся научные достижения Г.С. Горшков был избран в 1966 году членом-корреспондентом Академии наук СССР. В это же время он возглавил Институт вулканологии на Камчатке. На XV Генеральной Ассамблее МГТС коллектив института уверенно занял передовые позиции в мировой науке, а Георгий Степанович был избран президентом Международной Ассоциации вулканологии и химии недр Земли.