
ЭКСПЕДИЦИИ И ПУТЕШЕСТВИЯ

В СТРАНЕ ВУЛКАНОВ

В. И. Влодавев

Доктор геолого-минералогических наук

Лаборатория вулканологии Академии наук СССР (Москва)



Исландия замечательна во многих отношениях. Для вулканологов она представляет особый интерес как по разнообразным проявлениям вулканической деятельности, так и по практическому использованию исландцами вулканического тепла. Это определяло цель нашей (В. В. Иванов, Б. И. Пийп и автор) поездки в Исландию в 1957 г.

Геологически Исландия — молодой остров. Он сложен третичными и более молодыми образованиями. Ни в естественных обнажениях, ни в скважинах — пока нигде не обнаружены более древние горные породы.

В среднетретичное время в результате весьма интенсивной вулканической деятельности образовалось базальтовое плато провинции Туле, в которую входила не только Исландия, но Шотландия, Гренландия и все пространство между ними. Большая часть этой провинции в результате тектонических разломов и сбросов в конце третичного или в самом начале четвертичного периода опустилась, и обособился остров, ныне называемый Исландией. При последовавшем затем подъеме этого острова-горста в центральной части его образовался грабен. В дальнейшем остров раскололся на ряд глыб, которые опустились, образовав к востоку и к западу как бы ступенчатые сбросы.

В четвертичное время остров покрывался ледником, а затем возобновилась вулканическая, преимущественно взрывная, деятельность, которая продолжается до сих пор.

Исландия расположена в Атлантическом океане, у самого Северного Полярного круга.

На широте Исландии, в районе нашего Якутска, находится полюс холода. Но океаническое положение и влияние теплого Гольфстрима смягчают климат Исландии. Здесь теплая зима (средняя температура января -1°) и прохладное лето (средняя температура июля $+11^{\circ}$). Большая часть острова представляет собой плоскогорье (400—600 м над ур. м.). В высоких его частях залегают ледники, а во впадинах и долинах раскинулись кочковатая тундра и зеленые луга.

В исландских поселках и городах растет главным образом редкий древовидный кустарник, попадаются рябина и кусты смородины с мелкими ягодами. С умеренной полосой Исландию роднит привычная нам береза. Она не стелется, как полярная береза, а вырастает до 2—3 м.

Исландцы любят птиц и животных. На озерах и прудах много диких уток, которые не боятся людей. Охота в Исландии запрещена, а из гнезд птиц разрешается брать только половину яиц.

Население Исландии (около 160 000 человек) живет в основном на побережье, в рыбацких поселках, фермах и городах. В отдаленных же от океана районах страны разбросаны только фермы. Но в последние годы весь прирост населения уходит в города, на обслуживание преимущественно рыбной промышленности.

Мы прилетели в Рейкьявик почти в полночь, но было светло как днем, еще стояло полярное лето.

Первое впечатление от столицы Исландии — чистота. По состоянию улиц, домов и, самое главное и характерное, по составу воздуха можно считать Рейкьявик самым чистым в мире городом (рис. 1). Этот город без дыма, он отапливается природной горячей водой, а кухни работают на электроэнергии. Даже пароходы в порту не дымили, так как уже второй месяц шла забастовка капитанов.



Рис. 1. Рейкьявик

Название Рейкьявик в переводе значит «бухта пара». В районе города находились выходы горячих источников, из которых выделялся пар, ясно видимый в прохладную и холодную погоду.

Встретили нас очень хорошо и оказывали нам всяческое содействие, особо следует поблагодарить за помощь председателя Научного совета страны доктора философии Т. Сигургеирссона, а также доктора философии С. Тсораринссона и инженеров Х. Сигурдссона и С. Тсороддсена.

Из Рейкьявика мы совершили несколько поездок по стране на интересовавшие нас объекты. Наиболее интенсивная последняя и современная вулканическая деятельность, как трещинного, так и центрального типа, а также главная масса горячих источников сосредоточены преимущественно в широкой депрессии (с локальными в ней грабенами и горстами), идущей от западной половины южного побережья острова на северо-восток и затем поворачивающей у ледника Ватна-Йокуль на север. Из более чем 150 вулканов в стране около 30 — действующие.

К ВУЛКАНУ ХЕКЛА

Автобус ходит к Хекле только раз в неделю — в субботу и возвращается вечером в воскресенье. В одну из суббот мы поехали туда. Дорога к вулкану выложена базальтовой шлаковой дрсвой. Общая длина дорог

в Исландии около 8000 км, они в хорошем состоянии, но, как правило, узкие. Завидя автомобиль, водитель отъезжает в сторону и ждет, пока не пройдет встречная машина.

Хекла представляет собой хребтообразный вулкан высотой около 1500 м, переходного типа от трещинного к центральному. От вершины вулкана во все стороны и особенно на юго-запад спускаются отчетливо выделяющиеся черные полосы нагроможденных глыб базальтовой лавы. Это лава последнего извержения 1947—1948 гг. Предыдущее извержение произошло столетием раньше, в 1845 г. Его лавы во многих местах уже поросли лишайниками и мхами, благодаря чему имеют более светлую общую окраску (рис. 2).'

Радиоуглеродным и тефрахронологическим методами исландский вулканолог С. Тсораринссон определил время главнейших извержений Хеклы. Первое из тех, возраст которых удалось установить, произошло более чем 6500 лет тому назад. Следующее большое извержение произошло 6410 ± 170 лет, затем 3830 ± 120 лет и наконец 2720 ± 130 лет тому назад. Надо полагать, что в промежутках между ними были и другие, менее сильные извержения. За последнее же тысячелетие произошло минимум 13 извержений с интервалами покоя от 16 до 102 лет.



Рис. 2. Застывшие лавы вулкана Хекла. Черного пггта — лавы извержения 1947—1948 гг. Лавовые потоки 1845 г. выглядят более светлыми

Очень длительный интервал покоя был между последним и предпоследним извержениями; предполагали даже, что Хекла потухла. Однако в 1947 г. началось одно из больших извержений Хеклы. Слабые толчки наблюдались за два года и за три-четыре дня до извержения, но значительное увеличение силы и частоты толчков было замечено только за 20 мин. до его начала.

По С. Тсораринссону, 29 марта 1947 г., в 6 час. 41 мин., из кратера, расположенного на северо-восточной стороне вершины, поднялось вулканическое облако. В 6 час. 50 мин. произошло землетрясение, вслед за которым на хребте вулкана открылась трещина длиной в 3,5 км и из нее начало подниматься плотное облако. К 7 час. 10 мин. оно достигло 27 и затем 30 км, после чего начало быстро терять высоту и, спустившись до 10 км, оставалось на этой высоте в течение нескольких часов.

В процессе извержения трещина на вершине вулкана удлинилась до 5 км, затем на ней образовалось 18 кратеров. Количество лавы, изливавшейся в секунду, было различным: в первые 20 часов — 3500 м³/сек, а затем 150 м³/сек. Максимальная скорость течения лавы вблизи кратера была 2—2,5 м/сек. За время действия вулкана, которое продолжалось до 22 апреля 1948 г., излилось около 800 млн. м³ лавы и было выброшено около 200 млн. м³ вулканической пыли, песка и крупных обломков и глыб, из них около 180 млн. м³ в течение нескольких первых часов. Таким образом,

излилось и было выброшено около 1 км³, или, при пересчете на плотную породу, около 0,6 км³ массивной горной породы.

Температура лавы в кратере достигла приблизительно 1000°, а в трещинах лавового потока, в нескольких километрах от кратера, доходила до 1150°. По силе последнее извержение Хеклы стоит на третьем или четвертом месте среди самых больших вулканических проявлений XX века.

Извержение сопровождалось водяными и грязевыми потоками. По данным Г. Кьяртанссона, максимальное количество воды, протекавшей в 2 км от подошвы вулкана, было 900 м³/сек, а в 60 км — 120 м³/сек.

Общий объем водяного потока — около 3 млн. м³.

ПОДЛЕДНИКОВЫЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ И ЗАНДРЫ

Подледниковые извержения вызывают быстрое таяние льда и снега. Водяные и грязевые потоки выносят, наряду с крупными глыбами льда, своего рода айсбергами, огромные массы вулканических рыхлых продуктов, которые откладываются на больших площадях, образуя зандры, сложенные почти исключительно вулканическим песком.

В Исландии находится несколько ледников. Самый большой, не только в этой стране, но и во всей Европе, ледник Ватна-Йокуль, занимает площадь около 8500 км². Максимальная высота его около 2000 м. Толщина ледяного покрова около 1000 м. Под этим ледником скрыты вулканы. Самый активный и грозный из них вулкан Гримсвети представляет собой впадину площадью в 35 км² и глубиной более 500 м. Между извержениями она наполняется водой, получающейся от таяния ледника в результате подледниковой вулканической активности и главным образом от сольфатарной деятельности. В конце концов вода прорывает ледниковый барьер и устремляется вниз на прибрежную равнину, покрывая отложениями вулканического песка площадь около 1000 км². Потоки, идущие от Гримсветна, сбрасывают грязе-водяную массу объемом до 50 000 м³/сек, что равняется примерно половине среднего расхода

воды Амазонки. Общий объем сбрасываемых во время извержений Гримсветна грязи и воды — около 7 км³.

Эти потоки (йокульхлауп) производят грандиозное и страшное впечатление. Так, в 1934 г. ширина потока была в течение четырех суток более 2,5, а в течение полутора суток — около 8 км. Глубина потока достигала 20 м. Вода несла большие глыбы льда, один из айсбергов был высотой 15 м.

Другой весьма активный подледниковый вулкан — Катла расположен в юго-восточной части ледника Мирдальс-Йокуль. Последнее сильное его извержение произошло в 1918 г. Общее количество песка и пыли составляло около 0,7 км³. Потoki воды достигали глубины 20 и 70 м.

Ныне задровые равнины у Катлы, которую мы посетили с целью ознакомиться с характером отложения вулканического рыхлого материала, представляет собой ровную, мрачную, коричневатую-черную местность, сложенную почти исключительно из угловатых неправильной формы зерен-песчинок базальта и редко разбросанных небольших обкатанных мелких глыб других пород.

ТРЕЩИННЫЕ ВУЛКАНЫ

Трещинные вулканы в настоящее время — исключительно редкое явление. На юго-западе, в центре и на севере Исландии встречаются трещинные вулканы длиной от нескольких до 40 км. Мы видели их близ Рейкьявика, оз. Миватн и водопада Деттифосс.

Деятельность трещинных вулканов проявляется по-разному. Наиболее характерный представитель этого типа, вулкан Елагья, расположенный близ Катлы, представляет собой трещину с максимальной шириной (в северной ее части) около 600 м и максимальной глубиной около 140 м. Активность его выразилась, по С. Тсораринссону, только в одном длительном извержении, состоящем из трех стадий: взрыва, излияния большого количества лавы и перемежающейся деятельности, во время которой излилось небольшое количество лавы и образовались кратеры вдоль дна трещины.

Трещинные извержения вулкана Тсранглаборгир, расположенного близ оз. Миватн, сопровождались образованием ряда сопряга-

ющихся небольших круглых и значительно удлиненных конусов с кратерами, из которых вытекала лава отдельными ручейками. На некотором расстоянии от трещины они сливались в широкие реки, а последние соединялись и образовывали лавовые поля.

Наконец, на некоторых трещинах образование отдельных конусов было более значительное. Примером могут служить большие по объему и высоте (от нескольких десятков до 1—2 сот метров) конусы, к северо-востоку от оз. Миватн. Из них изливалась лава и выбрасывался вулканический рыхлый материал.

Трещинные вулканы изливают огромные массы лавы. Так, во время последнего извержения трещинного вулкана Лаки в Исландии в 1793 г. излилось свыше 12 км³ лавы.

Среди различных вулканических образований в Исландии распространены и щитовидные вулканы, но, к сожалению, мы их видели только издали.

САМЫЙ КРАСИВЫЙ ВУЛКАНИЧЕСКИЙ ЛАНДШАФТ СТРАНЫ

Перелетев из Рейкьявика в г. Акурейри (север Исландии), мы продолжали путь на машине по маршруту: водопад Годзфосс и гидроэлектростанция, оз. Миватн, его многочисленные псевдократеры и национальный парк, сольфатарное поле Рейкьяхлидз и, наконец, водопад Деттифосс.

На фоне голубого озера Миватн разбросаны многочисленные небольшие острова в виде усеченных конусов черного и бурого цвета, состоящих из обломков шлака, лапилли и вулканического песка. Разнообразные холмы вулканического происхождения окаймляют озеро близ восточного и южного берегов.

Псевдократеры расположены то группами, то в одиночку на берегах и на островах оз. Миватн. Их более ста. Они достигают 3—5 м в диаметре и бывают разной высоты, от 1—2 до 43 м над ур. озера.

Подобные кратеры мы наблюдали также на юге острова в местности Алфавер и в Раудхоларе, в 10 км от Рейкьявика.

Относительно происхождения этих кратерных групп высказано несколько гипотез, но правильное толкование их генезиса было дано только недавно С. Тсораринссоном.

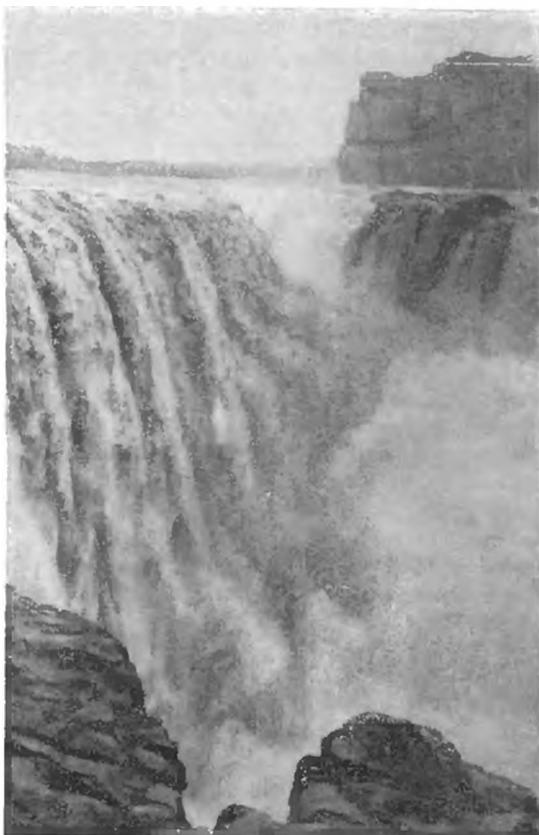


Рис. 3. Водопад Деттифосс

Они возникли там, где лава протекла по болотистым местам и неглубоким озерам. Вода, превращаясь в пар, прорывалась сквозь лаву и образовывала многочисленные рядом расположенные небольшие кратеры, не связанные каналами ни с главным каналом вулкана, ни с вулканическим очагом. Длина каналов определяется толщиной лавового потока.

Водопады. Исландия замечательна многочисленными красивыми водопадами. Мы посетили наиболее мощные из них: водопад Гулфосс на юге, а также Годзфосс и Деттифосс на севере острова.

На реке Йокульсау-Фьодлум, берущей начало у большого ледника Ватна-Йокуль, находятся три близко расположенных друг от друга водопада. Средний из них Деттифосс производит незабываемое впечатление (рис. 3). Мощный поток воды с шумом и ревом па-

дает с высоты 42 м, поднимая при этом огромное облако мельчайших водяных брызг. Деттифосс — самый большой водопад не только в Исландии, но и в Европе.

Общая высота (между водопадами) падения реки, текущей в глубоком каньоне, прорезающем третичные базальты, — 165 м. Здесь можно построить электростанцию мощностью в 260 000 квт. Сейчас проектируется станция на 130 000 квт.

Гейзеры. Слава известных всему миру исландских гейзеров уходит в прошлое. Дело в том, что периодическое вскипание и выбрасывание воды и пара из Большого и Малого гейзеров прекратилось. Фонтанирование вызывают теперь искусственно (вливанием в горловину гейзера жидкого мыла). По-видимому, мыло покрывает пленкой воду в канале гейзера и несколько предохраняет ее от быстрого охлаждения, благодаря чему она нагревается до точки кипения и, превращаясь в пар, начинает фонтанировать. В 1956 г. эта операция еще возобновляла фонтанирование Большого гейзера, но в 1957 г. при вливании даже 50 кг мыла выброса воды и пара из него не происходило. Мы наблюдали вызванное вливанием 5—10 кг мыла фонтанирование Малого гейзера, продолжавшееся 2—3 минуты. В некоторых других местах Исландии гейзеры еще действуют, но они не такие мощные и высокие, как в районе Большого гейзера.

Интересно отметить, что в одной из скважин, просверленных в г. Хверагердзи с целью вывода горячей воды для отопления, время от времени происходят выбросы пара и воды. Но из этой скважины сильное фонтанирование можно искусственно вызвать в любое время, забрасывая в нее несколько кусочков карбида кальция; в таких случаях сильная струя пара бьет на высоту 10—15 м около часа. По всей вероятности, происходит реакция между водой и карбидом кальция с выделением тепла, благодаря чему большое количество воды превращается в пар.

ВУЛКАНИЧЕСКОЕ ТЕПЛО И ЕГО ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Многочисленные выходы природных горячих вод и пара приурочены к районам развития послеледникового вулканизма. Они встречаются то группами, то отдельными грифонами, преимущественно северо-

восточного направления в западной половине южной части острова и меридионального направления в центральной части северной половины Исландии.

Горячие воды, главным образом щелочные (азотные) или кислые (сероводородно-углекислые, сульфатные), по мнению многочисленных исследователей Исландии, образуются за счет проникновения поверхностных вод в глубину земли, где, нагреваясь теплом, идущим от вулканических очагов или от еще горячих интрузивных тел, частично смешиваются с вулканическим паром и газами и затем по трещинам поднимаются на поверхность. Движение воды по пластам, судя по геологическому строению, имеет более ограниченные размеры.

В Исландии известно около 250 групп источников горячей воды и 12 полей выходов горячего пара. Дебит их — от нескольких до 250 л/сек. Суммарный дебит — около 1500 л/сек. Температура воды на выходе от 15 до 100°, пара в скважинах на глубине 2200 м — 230°. На больших глубинах можно ожидать и еще более высокую температуру.

Тепло, выделяемое источниками, по подсчетам Г. Бодверссона, равно $4 \cdot 10^8$ ккал/час, а струями пара — $2,5 \cdot 10^9$ ккал/час. Всего же паром и горячей водой выделяется около $3 \cdot 10^9$ ккал/час. Таким образом, Исландия является областью с повышенным теплосодержанием и теплоотдачей.

Горячие воды и пар могут быть использованы в трех направлениях — энергетическом, теплофикационном и в химической промышленности. В Исландии горячие воды используются в целях теплофикации, так как топливных ресурсов в этой стране почти нет. Наряду с этим, производятся опыты извлечения из сольфатарных струй серы и водорода и предполагается поставить опыты получения тяжелой воды. В случае избытка тепла появится возможность получать поваренную соль из морской воды. Энергетическое направление в Исландии не развивается, так как существуют условия, благоприятные для строительства гидроэлектростанций.

Первая скважина для получения горячей воды была пробурена в 1928 г. в 3 км от Рейкьявика, на месте выхода горячего источника. Буровые работы дали хорошие результаты.

Увеличился дебит воды и температура ее повысилась. В 1930 г. муниципалитет Рейкьявика построил теплоцентральный. В это время дебит составил 14 л/сек. Это количество воды обогревало около 70 жилых домов, две городские школы, больницу, закрытый и открытый бассейны для плавания. Наиболее отдаленный от источника дом находился на расстоянии 3,5 км. Первый опыт был настолько удачен, что сразу же начали проектировать тепловую установку для всего города.

В 1933 г. были заложены буровые в Рейкюре, в 16 км от столицы, а в 1947 г. еще дальше, в 3 км за Рейкиром. К 1957 г. на этих месторождениях было пробурено 92 скважины¹, глубиной от 20 до 770 м. Большая часть скважин имеет глубину в пределах 300—400 м. Дебит горячей воды всех этих скважин около 400 л/сек. Средняя температура воды 87°, а самая высокая у выхода на поверхность — 99°, наивысшая температура в 124° была замерена в скважине на глубине 690 м. Химический состав этой воды такой, что ее можно без очистки применять для приготовления пищи, а также непосредственно вводить в отопительную систему.

Вода из скважин в 3 км от Рейкира поступает в коллектор, а затем автоматически перегоняется в коллектор Рейкира, куда поступает вода из месторождения Рейкир.

¹ Всего же по всей Исландии пробурено 175 скважин в 36 местах. Суммарная глубина их — 34 км.



Рис. 4. Центральный коллектор отопительной системы и главная насосная станция

В этом коллекторе температура воды 87° . Находящаяся рядом насосная станция перегоняет воду по двум стальным трубам, диаметром 350 мм и длиной в 15,3 км каждая, в резервуары, расположенные на холме близ города (рис. 4). Каждый из 3 насосов станции может перегонять при давлении в 14 ат 150 л воды в секунду. Различные аппараты управляют работой не только этой станции, но и насосной станции в 3 км от Рейкира и, кроме того, указывают уровень воды в городском резервуаре.

Стальные трубы, обложенные для изоляции 10-сантиметровыми торфяными матами, заключены в бетонную трубу, проходящую по поверхности. Для выравнивания суточного расхода воды требуются большие водохранилища, поэтому установлено 8 резервуаров, общая вместимость которых 8400 м^3 , что составляет примерно одну четверть наивысшего суточного расхода.

Из резервуаров вода самотеком идет по трубам (общая длина 43 км) в город и от них по трубам меньшего диаметра (общая длина их около 30 км) в дома. В зимнее время, когда расход горячей воды максимальный, пускают в ход промежуточную между резервуарами и городом насосную станцию, чтобы вода попадала во все дома, расположенные и на холмах. Зимой вода охлаждается только на 3° , летом больше. Температура воды, поступающей в дома, около 75° , а вытекающей из них $35-45^{\circ}$, в зависимости от нагрузки. Оработанную воду можно использовать для питья, стир-



Рис. 6. Зандры, превращенные в луга

ки и т. п. В настоящее время в Рейкьявике отапливается 3600 зданий.

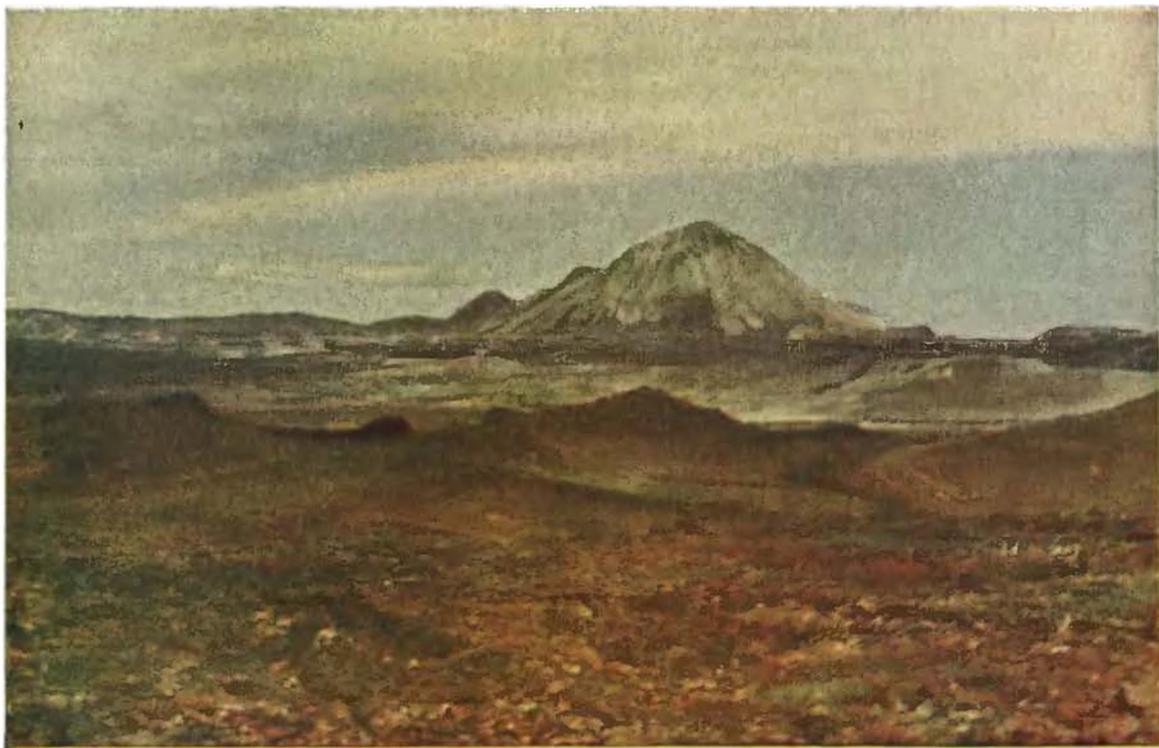
Теплофикация за счет подземной горячей воды имеет большое значение для экономики и культуры города. Исландцы считают, что у них самая дешевая, самая удобная и чистая система отопления. Все эти сооружения обошлись в 45 млн. исландских крон. Ежегодно же валовые поступления примерно равны 19 млн. крон. Из них около 10 млн. исландских крон являются чистым доходом.

Использование тепла горячих вод позволяет исландцам экономить на ежегодном импорте более 50 000 т каменного угля и, следовательно, экономить валюту.

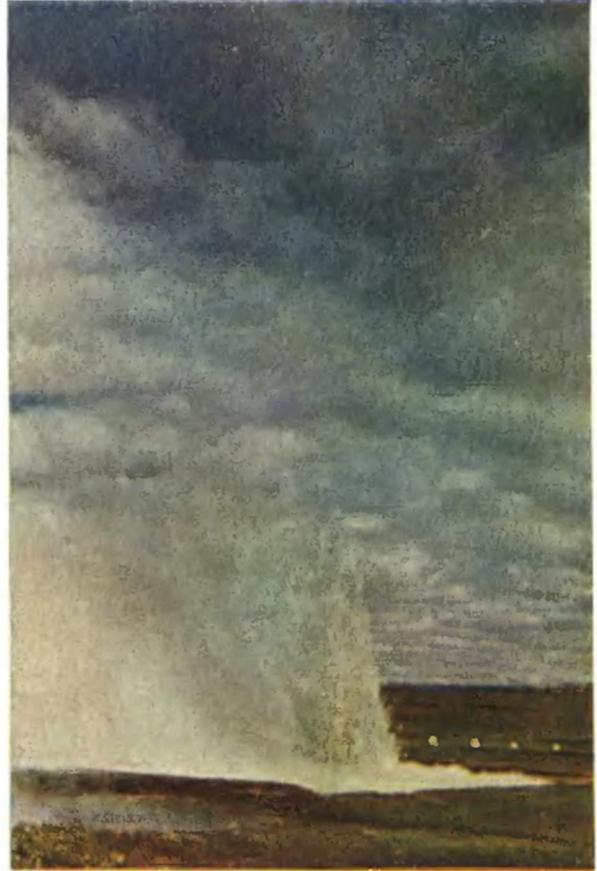
Город растет, необходимы новые источники горячей воды. Начато бурение в черте самого города. Предполагается также использовать паровые и сольфатарные струи в Кирсувике, в 30 км от города, с температурой пара до 200° (рис. 5). Исландцы считают, что целесообразнее этими газами и паром нагревать чистую воду и перегонять ее в город. Ресурсы природного тепла близ Рейкьявика дадут возможность обогревать дома для населения свыше 150 000 человек. В г. Хверагердзи состав горячих вод другой и система отопления несколько иная. Так, для теплиц используют воду только от 90 до 80° а затем ее сбрасывают, потому что при температуре ниже 80° из воды выпадает коллоидальный осадок, который забивает трубы. Около домов построены небольшие бетонные колодцы, через которые все время протекает горячая вода. В колодце находится зме-



Рис. 5. Выпуск подземного пара через сепаратор в районе г. Кирсувик



Типичные ландшафты Исландии. *Вверху* — водопад Гуллфосс; *снизу* — местность к востоку от озера Мивати



Проявления вулканизма. Слева — буровая вблизи озера Мивати; справа — Малый гейзер; внизу — вулкан Хекла

евик, наглухо соединенный с отопительной системой дома. Эта система наполняется чистой водой, которая все время циркулирует; нагретая вода идет в дом, там постепенно охлаждается и охлажденная попадает в змеевик, где снова нагревается и т. д.

Наконец, применяется совсем примитивная система отопления в отдельно стоящих зданиях (гостиницы для туристов, фермы и т. п.), расположенных близ небольших выходов горячих источников или сольфатар. Холодная вода из чистого, неминерализованного ручья течет по узкой трубе, которая закапывается в горячую глинистую массу термального или сольфатарного поля. Там она нагревается и течет в близко расположенные дома.

Таким образом, недостаток солнечного тепла исландцы отчасти компенсируют вулканическим теплом. Горячей водой отапливаются большие теплицы, площадь которых во всей Исландии равна 8 га. В этих теплицах вырывают бананы и виноград; ставятся опыты выращивания и других южных растений. Кусты помидоров и огурцов вырастают до 2 м. С куста помидоров снимают урожай до 5 кг. Одна из теплиц отдана в полное распоряжение студентам. Здесь применяются в зимнее время различные способы искусственного освещения.

Исландцы осушают, выравнивают и засевают кочковатые тундры и мрачные черные песчаные задровые равнины, превращая их в хорошие луга, сажают картофель в размерах, почти достаточных для местного потребления. Производят опыты с посевами злаков и лесонасаждением (рис. 6). А теплицы, согреваемые подземной горячей водой, дают населению помидоры, огурцы и цветы (рис. 7).



Рис. 7. Гвоздика, выросшая в теплице

Из Исландии мы уезжали преисполненные большого уважения к мужественному, трудолюбивому и миролюбивому исландскому народу. На протяжении всей своей истории населению острова (предки его переселились сюда около тысячи лет тому назад) пришлось вести непрерывную борьбу с огнем и льдом. Но исландцы никогда не воевали с другими странами и уже прошло три столетия, как вообще упразднена у них армия.

Извержения вулканов, землетрясения, ледники и дрейфующие льды, закрывающие выходы в океан, были постоянной угрозой бедствий. Народ преодолевает непокорную стихию и считает свою каменистую, почти безлесную и, казалось бы, бесплодную родину прекрасной землей.

«Горная королева с ледяной диадемой на суровой голове и с огнем в груди» — так воспевается Исландия в сагах.