

Первые геотехнические исследования в космосе – исследования грунтов Луны



Луна – первый внеземной космический объект, на котором были проведены геотехнические исследования, применены первые геотехнические приборы, получены первые данные о механических свойствах реголита – дисперсного грунта, покрывающего поверхность Луны.

Для развертывания каких-либо работ на ближайших к Земле космических объектах, строительства научных станций, площадок, укрытий и сооружений, конструирования инженерной техники, всегда будет требоваться предварительное изучение природных инженерно-строительных (геотехнических) условий этих объектов. При этом неизбежно должна возникать необходимость оценки механических свойств поверхности изучаемых космических объектов.

Впервые в мире исследования физико-механических свойств лунного грунта (реголита) были начаты советскими учеными в 1960-х годах. Эти работы положили начало новому направлению в геотехнике, получившему название «космическая геотехника». Большой вклад в ее развитие внесли А.П.Виноградов, И.И.Черкасов, В.В.Шварев, В.В.Громов, В.В.Михеев, М.И.Смородинов, В.П.Петрухин, Ю.М.Лычко, А.А.Морозов, Э.А.Мотовилов и др. К созданию уникальных приборов для исследования лунного грунта был привлечен ряд институтов АН СССР и других министерств и ведомств.

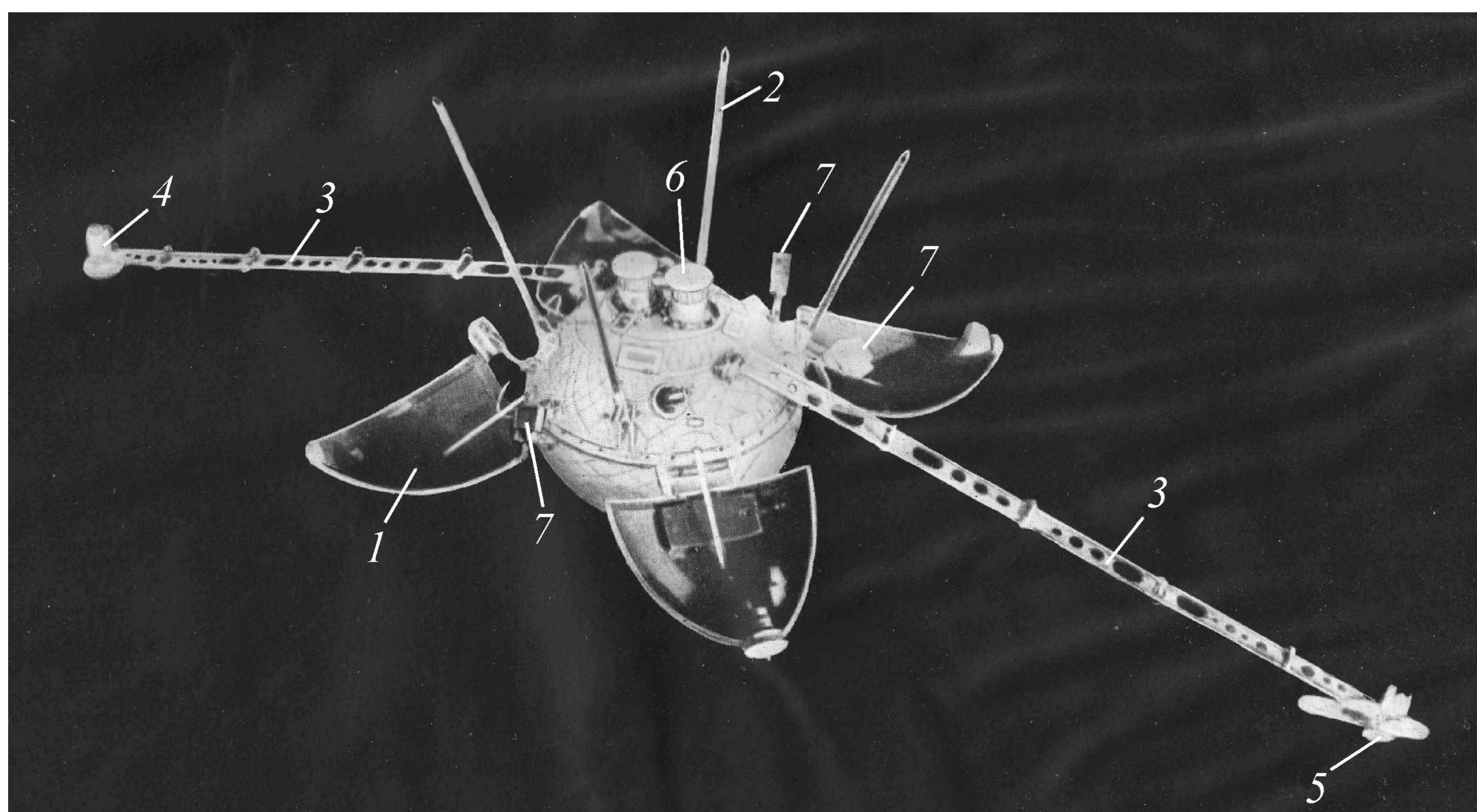
ХРОНОЛОГИЯ ПЕРВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

03.02.1966 г. – советская автоматическая лунная станция «Луна-9» совершила **первую в истории космических исследований мягкую посадку на Луну** в районе Океана Бурь. Успешная посадка опровергла гипотезу о существовании толстого слоя рыхлой пыли на Луне и открыла путь к прямому инструментальному определению механических характеристик лунной поверхности.

24.12.1966 г. - в Океане Бурь совершила посадку станция «Луна-13», на которой были установлены три прибора, предназначенные специально для исследований в области механики грунтов - **грунтомер-пенетрометр** и радиационный гамма-плотномер. Они стали **первыми геотехническими приборами для исследования грунта внеземных объектов**.

17.11.1970-19.02.1971 г.г. и 16.01-22.04.1973 г. – **работа первых в мире самоходных автоматических станций «Луноход-1» (Море дождей) и «Луноход-2» (Кратер Лемонтье)**, оснащенных прибором ПРОП и управляемых с земли специальными экипажами.

20.09.1970 г., 21.02.1972 г. и 18.08.1976 г. – **начало работы автоматических лунных станций «Луна-16» (Море изобилия), «Луна-20» (Кратер Аполоний-С) и «Луна-24» (Море кризисов), снабженных буровыми устройствами.**



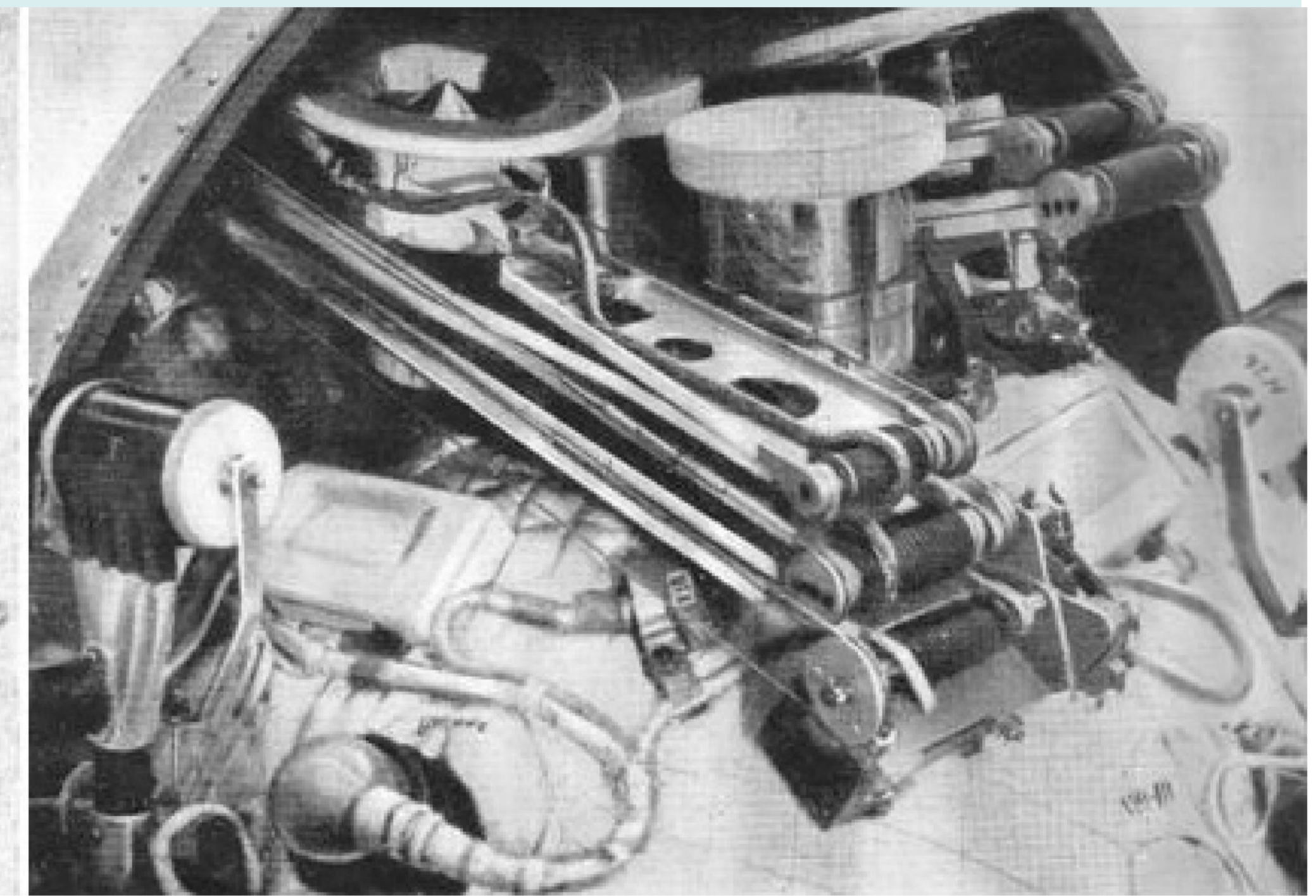
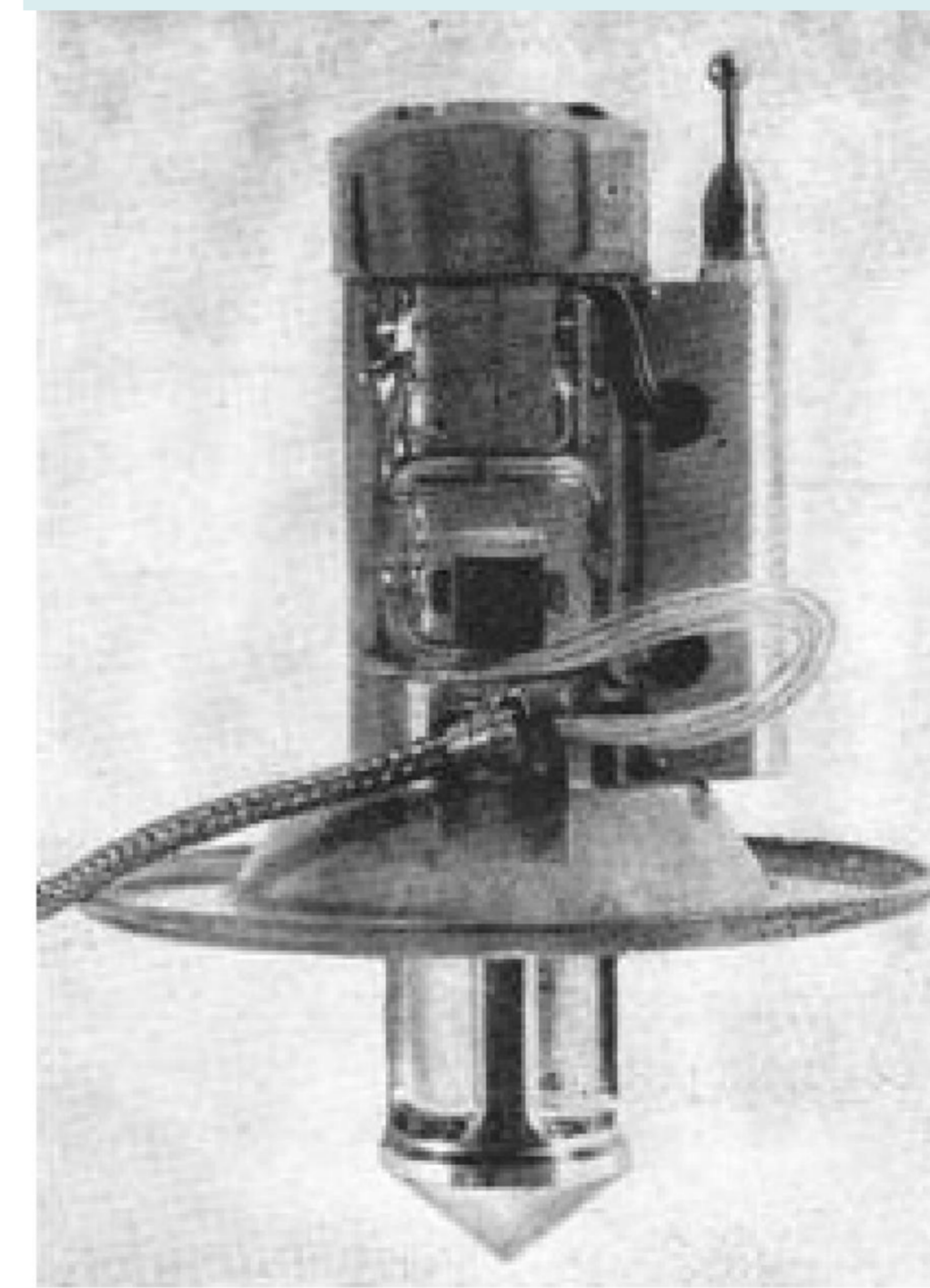
Автоматическая станция «Луна-13»: 1-лепестковые антенны, 2-штыревые антенны, 3-механизм выноса приборов, 4-радиационный гамма-плотномер, 5-грунтомер-пенетрометр, 6-телевизионная камера, 7-радиометры



Первая в мире самоходная автоматическая станция «Луноход-1»

ГРУНТОМЕР-ПЕНЕТРОМЕТР

Имел пластмассовый корпус, нижняя часть которого образовывала кольцевой плоский штамп с наружным диаметром 12 см и внутренним 7,15 см. В верхней цилиндрической части находился подвижный титановый индентор, рабочая часть которого представляла собой конус с углом при вершине 103° и диаметром основания 3,5 см. Выше располагался миниатюрный реактивный двигатель твердого топлива с соплом, обращенным вверх, предназначенный для вдавливания индентора в грунт. Сила тяги двигателя в лунных условиях 55...75 кН, продолжительность действия - 0,6...1,0 с. Глубина вдавливания измерялась с помощью потенциометра со скользящим контактом, укрепленного на корпусе прибора. Точность измерения - 0,3 мм.



Грунтомер-пенетрометр (слева) и механизм выноса приборов (справа) для исследования грунта в сложенном состоянии

Оценка механических свойств грунтомер-пенетрометром производилась после того, как прибор выносился на поверхность грунта с помощью выносного механизма. Команда на запуск двигателя прибора подавалась после снятия нулевого отсчета потенциометра. Расшифровка результатов работы прибора выполнялась двумя способами.

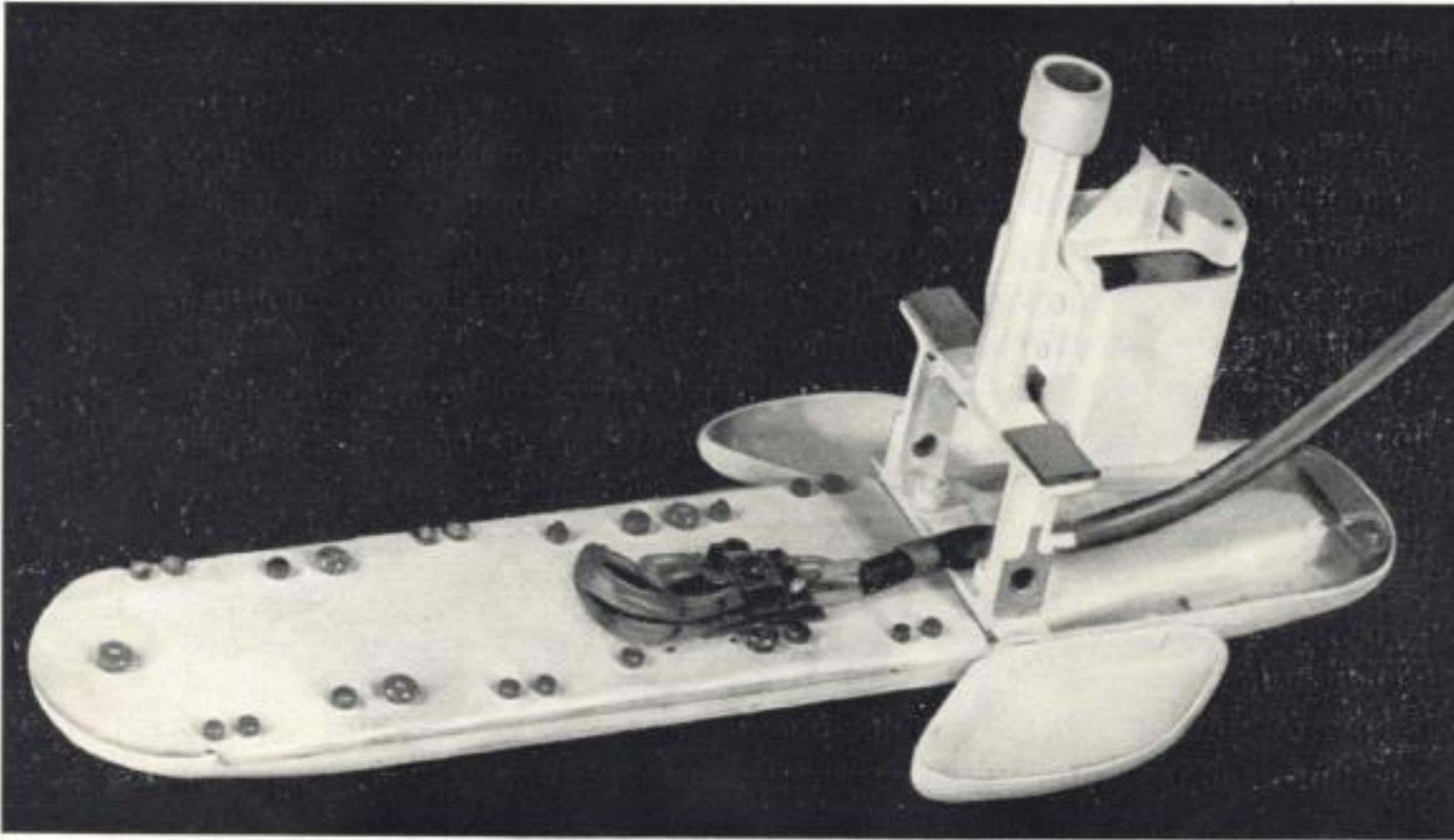
Первый способ состоял в том, что в лабораторных условиях на Земле производились испытания прибора с установкой его на 14 различных грунтах и материалах, свойства и плотность которых определялись параллельно общепринятыми методами. В результате тарировки была получена таблица глубин погружения индентора и корпуса прибора в каждый из исследуемых материалов, использованная впоследствии для расшифровки данных, полученных с Луны.

Ставились специальные опыты для выяснения влияния ускорения силы тяжести на глубину вдавливания индентора в зернистые грунты. Последние проводились в кабине самолета, летящего по траектории, на которой выдерживалось ускорение, равное лунному ускорению силы тяжести, т. е. $1,62 \text{ м/сек}^2$. Индентор вдавливался с помощью спиральной пружины, глубина вдавливания регистрировалась механическим самописцем.

Сравнение глубины погружения в этих условиях с глубиной погружения, полученной тем же способом на Земле, позволило установить, что понижение ускорения силы тяжести в 6 раз, по сравнению с земным, привело в среднем к увеличению погружения индентора прибора на 70 %.

Второй способ расшифровки показаний грунтомера-пенетрометра заключался в использовании решений механики грунтов, относящихся к случаю вдавливания круглого штампа. Поскольку для штампа сложной конфигурации, каким являлся пенетрометр на станции «Луна-13», готовых решений нет, было использовано решение В. Г. Березанцева для плоского штампа. Расчет дал критическое давление на лунный грунт, равное 66,7 кПа.

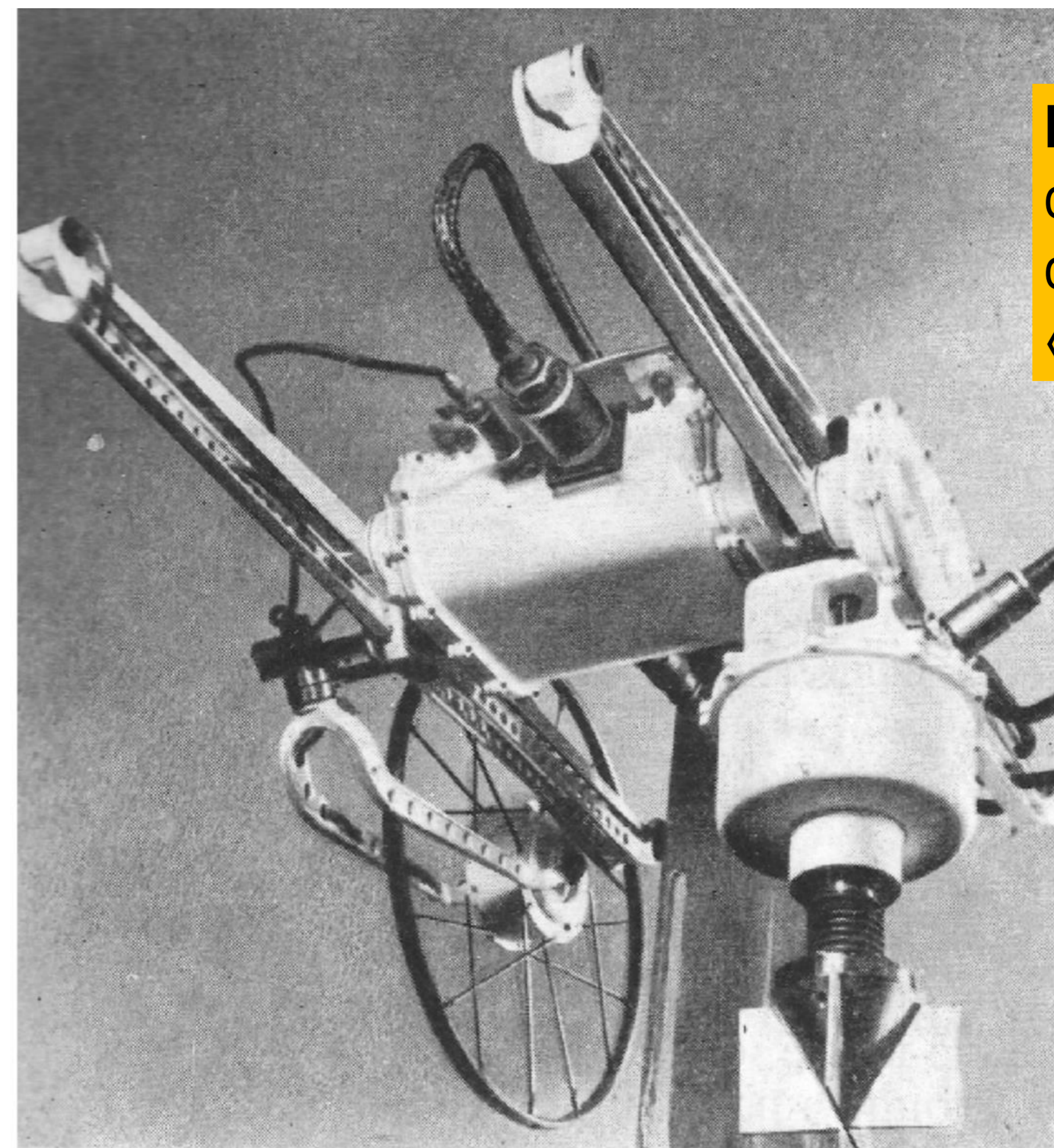
ГАММА-ПЛОТНОМЕР



Радиационный гамма-плотномер

Радиационный гамма-плотномер определял плотность грунта по его способности рассеивать гамма-кванты, испускаемые прибором. Датчик прибора крепился на выносном механизме, а электронный блок и телеметрическая система внутри станции. Внутри корпуса 25,8x4,8 см датчика располагался радиоактивный изотоп Cs^{137} и три группы счетчиков для регистрации рассеянного излучения. Между изотопом и счетчиками помещался свинцовый экран.

ПРИБОР ОЦЕНКИ ПРОХОДИМОСТИ (ПРОП)



Прибор ПРОП. Оснащались самоходные автоматические станции «Луноход-1» и «Луноход-2»

Для определения механических свойств реголита на луноходах был установлен прибор оценки проходимости (ПРОП). Его рабочий орган состоял из конического штампа с углом при вершине 30° и диаметром основания 5 см и двух пересекающих его вертикальных лопастей шириной 7 см и высотой 4,4 см. Прибор совмещал элементы пенетromетра и крыльчатки. Усилие внедрения штампа – 0,23 кН, глубина внедрения – 50-100 мм, угол поворота – 90° , вращающий момент – до 5 Н*м. Прибор работал следующим образом. После подачи команды конусно-винтовой штамп опускался до уровня грунта и внедрялся в него до предельно возможной величины. Затем происходил поворот штампа до предельного угла или крутящего момента. В процессе испытаний непрерывно измерялись: перемещение штампа, усилие вдавливания штампа в грунт, угол поворота штампа, вращающий момент на штампе.

БУРОВОЕ УСТРОЙСТВО

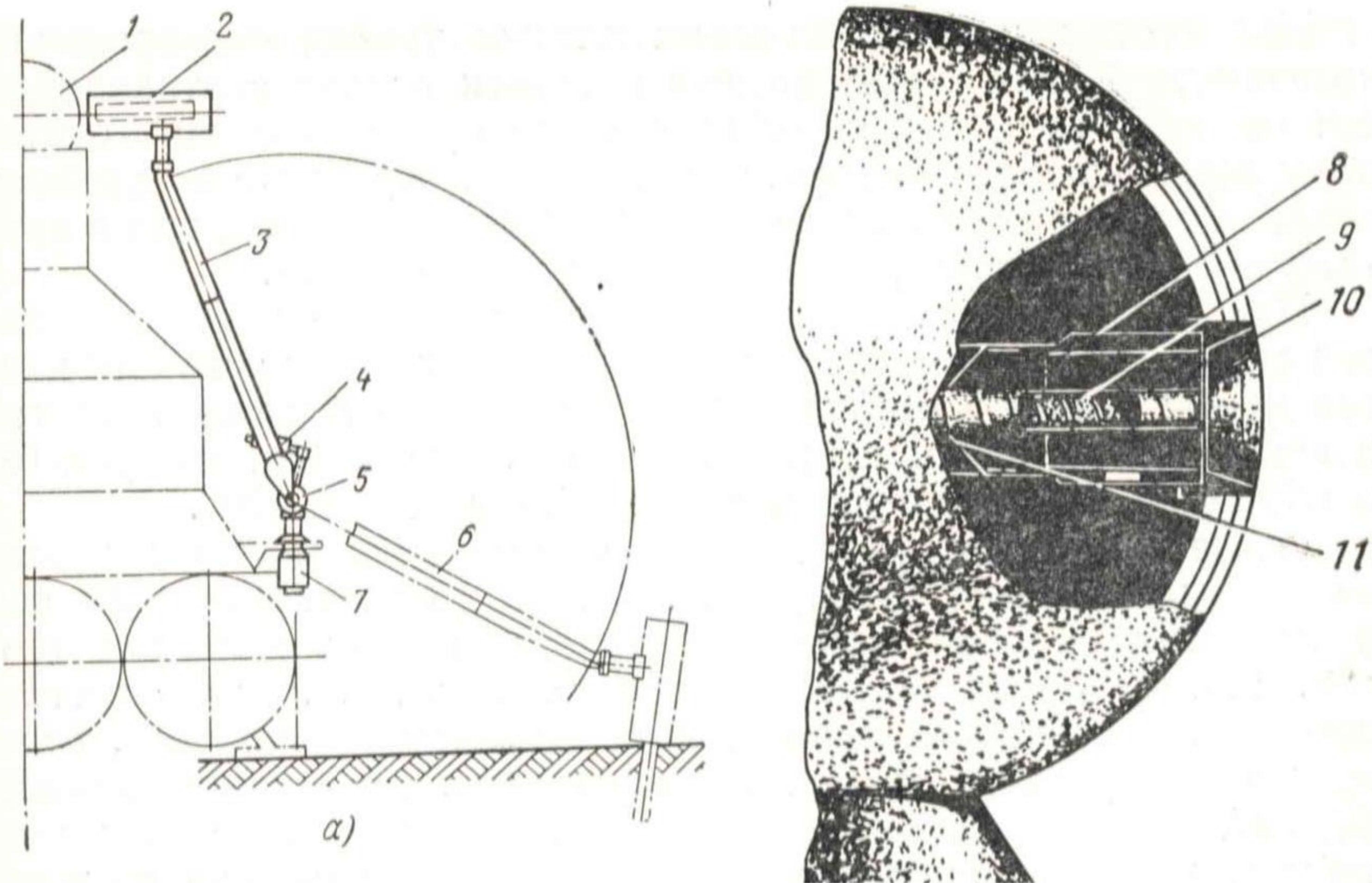
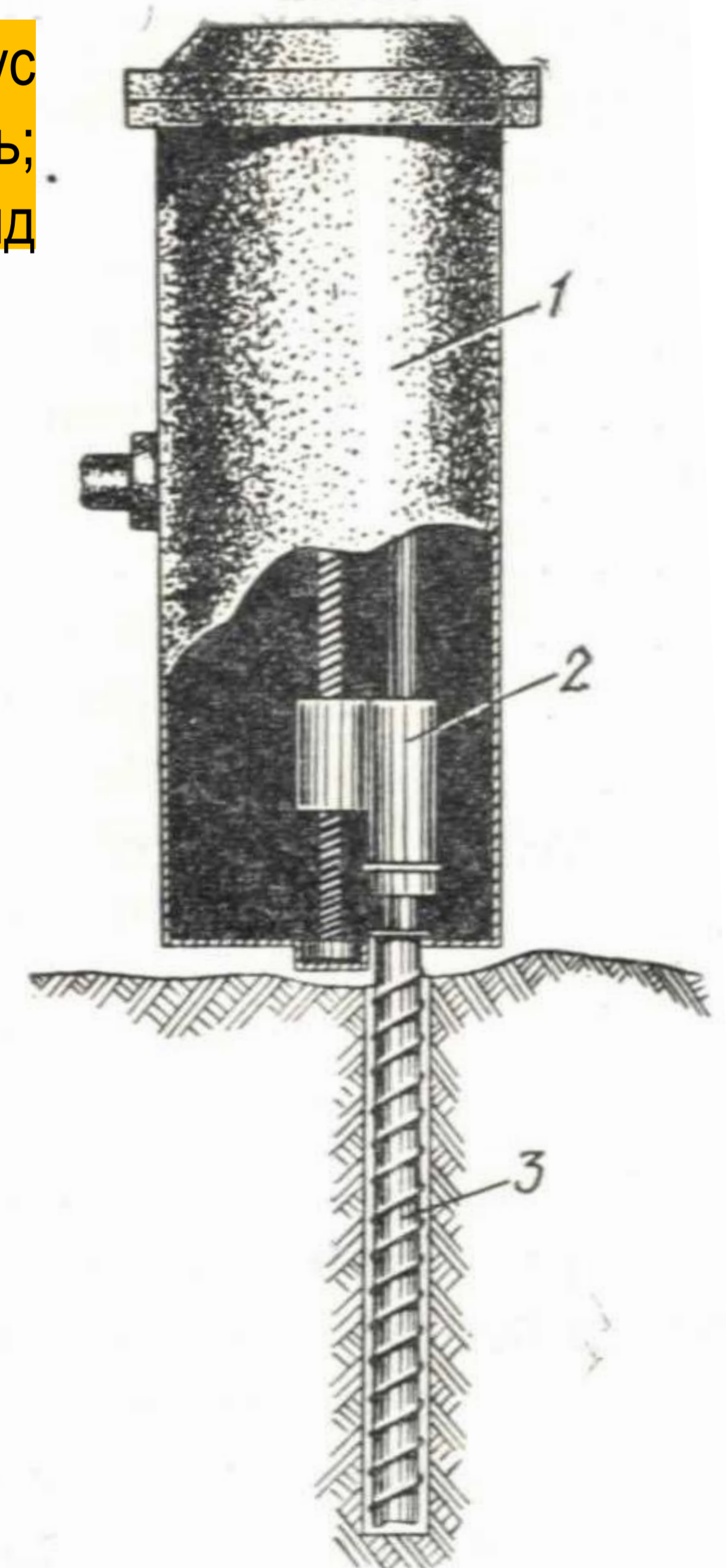


Схема грунтозаборного устройства и грунтового отсека возвращаемого аппарата: 1-возвращаемый аппарат; 2-буровой станок; 3-исходное положение выносной поворотной штанги; 4-демпфер штанги; 5-электромеханический привод поворота штанги в вертикальной плоскости; 6-рабочее положение штанги; 7-привод сканирования штанги по азимуту; 8-контейнер для бурового снаряда с грунтом; 9-буровой снаряд с грунтом; 10-крышка контейнера; 11-фиксирующие пружины

Буровой станок: корпус бурового станка; 2-вращатель; 3-буровой снаряд



Грунтозаборное устройство состояло из бурового станка, штанги, на которой он крепился, и приводов, перемещающих штангу по вертикали и горизонтали. Рабочим органом служил трубчатый виброударный инструмент с резаками на конце. Рассчитанный на работу от скальных до пылевато-песчаных грунтов. Максимальная глубина бурения – 35 см. Станок работал от электродвигателей. По окончании работы бур с грунтом извлекался из скважины и вводился в контейнер возвращаемого, герметично закрываемого, аппарата. Затем ракета Луна-Земля стартовала с посадочной ступени и направлялась к земле. Из морского района («Луна-16») было доставлено 100 г., а из горного («Луна-20») – 50 г. реголита.

На «Луна-24» была использована установка нового типа, обеспечивающая бурение и отбор керна с глубины до 2,6 м при минимальном искажении свойств. Буровое устройство было значительно сложнее. В процессе бурения грунт поступал во внутреннюю полость буровой штанги, где помещалась гибкая труба – грунтонос и механизм, который подхватывал грунт и удерживал его в виде столбика на протяжении всего процесса бурения. До глубины 120 см использовалось вращательное бурение, а дальше – ударно-вращательное. Затем грунтонос с грунтом, находящимся в полости штанги, извлекался из нее и наматывался на барабан, размещенный в специальном контейнере, который затем заключался в герметичную капсулу и возвращался на землю. «Луна-24» доставила 170 г. лунного вещества.