

Влияние температуры на внутреннее трение каменной соли.

§ 1. *Цель работы.* Вопрос о влиянии температуры на внутреннее трение каменной соли представляет большой интерес потому, что 1) кристаллическая структура ее вполне выяснена работами Брэггов (отца и сына)¹⁾ и 2) электропроводность ее изучена Кюри²⁾ и Лукирским³⁾. Между электропроводностью и вязкостью существует несомненная связь и весьма важно установить количественную зависимость между этими величинами.

Коэффициент внутреннего трения каменной соли при различных температурах я определял по способу кручения два раза с двумя различными установками. Первый раз кручение соли было мною начато совместно с К. П. Гринаковским в 1912 г., затем было продолжено одним мною в 1918 г.

Каменная соль была предоставлена Б. П. Вейнбергом, который вывез ее из Величковских копей (Австрия).

§ 2. *Основная формула.* Общие замечания. Если один конец стержня с прямоугольным квадратным сечением закрепим не подвижно, а к другому приложим закручивающий момент $M = Pd$, где P —действующая сила, d —плечо, то через некоторое время после действия силы изменение угла кручения $\Delta \varphi$ за равные промежутки времени Δt делается постоянным, т. е. установится некоторый стационарный режим, при котором угловая скорость закручивания одного конца относительно другого будет постоянна, тогда можно коэффициент внутреннего трения η вычислить по формуле:

$$\eta = \frac{6 P d L}{a^4 \left(\frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \right)},$$

где L —длина закручиваемого образца и a —сторона квадрата сечения.

После приложения закручивающего момента скорость деформации начинает убывать и через довольно долгий промежуток времени становится постоянной. Если по оси абсцисс откладывать время, а по оси ординат величину величину деформации, то кривая постепенно повышается, имея вогнутость в сторону оси абсцисс, но с течением времени ее вогнутость уменьшается и кривая переходит в прямую с определенным наклоном к оси абсцисс. Тангенс угла наклона и является мерой угловой скорости кручения. Для определения η кручение необходимо производить при постоянной силе столь долгое время, пока не установится стационарное состояние. В течение всего этого промежутка времени необходимо сохранять постоянство температуры.

§ 3. *Приборы и установки.* На черт. 1 изображен прибор который служил в 1912 г. для кручения соли при 405°. На доске А были установлены неподвижная стойка В и подвижная С, которая ходила по направляющей и могла быть прочно закреплена в любом положении винтами с барашками. На латунной оси D (диам. 1·5 см.), вращавшейся в железных двойных пластинчатых подшипниках E₁ и E₂, были укреплены лимб G и колесо F с жолобом (диам. dna жолоба 24·8 см.)

¹⁾ У. Х. и У. Л. Брэгг. Рентгеновские лучи и строение кристаллов. М. 1914.

²⁾ J. Curie. Ann. d. Ch. et de Phys. 18, 203 (1889).

³⁾ П. Лукирский. Ж. Р. Ф. О., 50, 26 (1918).

по периферии. На нить J подвешивался вращавший груз Р. На конце оси была укреплена квадратная полая толстостенная, съемная коробка K_1 , в которую при помощи гипса вмазывался конец образца из каменной соли. К обойме L, которая могла перемещаться вдоль стойки С, был прикреплен стержень с коробкой K_2 для закрепления второго конца. В центре дна каждой коробки были сделаны конические острия для правильной установки образцов.

Соль была окружена латунным цилиндрическим кожухом, разбитым на две части по образующим, с прорезами для осей. Кожух, кроме того, обертывался асбестовым картоном. Нагревание производилось газовой горелкой Теклю с регулятором. Термометр Т был вставлен в трубку кожуха. Перед лимбом G был поставлен измерительный микроскоп с окулярной шкалой.

Закрепление образца производилось следующим образом. В середине оснований образца просверливались небольшие углубления. Коробка K_1 снималась с оси и зажималась в токарном станке так, чтобы коническое острие ее совпадало с центром подвижной бабки станка. Между центрами коробки и бабки зажималась каменная соль и разведенным гипсом замазывался просвет между солью и стенками коробки. После высыхания гипса коробка с солью снималась со станка, привинчивалась к оси прибора и затем вмазывался таким же способом второй конец образца.

На черт. 2 изображен сконструированный мною прибор, с которым я производил кручение в 1918 г. На деревянной доске AA болтами были укреплены две стойки B_1 и B_2 из полосового железа (1×5 см). В стойке B_1 была укреплена велосипедная ось С на шариковых подшипниках. На одном конце оси был закреплен железный диск D (диам. 17,5 см.) с железными накладками по периферии для образования желоба. На нити E подвешивался закручивающий груз Р. На другом конце оси, которая была удлинена с помощью переходной муфты, была приклепана толстостенная латунная квадратная коробка F_1 с четырьмя винтами по сторонам. Другая такая же коробка F_2 была укреплена на стойке B_2 . Исследуемый брусок каменной соли G закреплялся своими концами в коробках, при чем между винтами и солью были положены металлические пластинки во всю ширину бруска. На соль были насажены два зеркала H_1 и H_2 . Каменная соль вместе с зажимами F_1 и F_2 была помещена в двойной разъемный кожух JK. Внутренняя часть кожуха J представляла собою коробку из красной меди, а наружная K—коробку из листового железа, покрытую со всех сторон асбестовым картоном. Изображенные на черт. 2 две полукоробки (вторые части для ясности удалены) соединены между собою двумя толстостенными трубками L_1 и L_2 , внутренний диаметр которых немного больше диаметра оси. Кожух стоял на четырех винтовых ножках, из которых две M_1 и M_2 показаны на чертеже. Сначала кожух убирался совершенно, а затем, после закрепления образца и установки зеркалец, он ставился на место без соприкосновения с остальной частью прибора и, следовательно, без риска расстроить установку. После установки первой половины кожуха надвигалась сначала вторая половина внутренней коробки J, к которой были приделаны вторые половины трубок L_1 и L_2 и, наконец, надевалась другая половина внешней коробки K.

В виду того, что это устройство кожуха на практике оказалось очень удобным, оно отдельно изображено на черт. 3, из которого видно, как устроено самое соединение половин коробок. Следует еще указать, что полукруглые вырезы в съемной части K входили в пазы

утолщений L_1 и L_2 . В передней стороне, как внутренней, так и внешней коробки кожуха были вделаны шлифованные стекла (3.5×10 см.) N_1 и N_2 . Между двумя коробками на дне кожуха была помещена электрическая грелка O , состоявшая из железной рамки, на которую с асбестовой прокладкой была намотана реотановая проволока. Термометр T служил для измерения температуры.

На черт. 4 в нат. величину изображено зеркальце с оправкой в трех проекциях. Оправы были вырезаны из листика жести. Зеркальца держались на образце благодаря трем остриям 1, 2 и 3 и упругой дужке.

§ 4. *Методы.* В 1912 г. угол поворота определялся непосредственно по лимбу, разделенному на полградусы, через измерительный микроскоп, увеличение которого было подобрано так, что его шкала служила нониусом. Отсчеты сначала производились в определенные моменты, а затем отмечались моменты прохождения нуля микроскопа через определенные деления лимба.

Самый способ определения угла кручения φ нельзя считать надежным потому, что невозможно вполне устранить кручение концов в закрепах. Заливка гипсом была предложена Б. П. Вейнбергом, как наиболее надежная, так как пережженный и погашенный гипс мало изменяется при нагревании. При этом методе трудно сказать, что именно является длиной L образца. Можно ли принять за L длину, свободную от закрепов, или же часть образца, скрытая в закрепах также принимает участие в кручении. Я принял за L длину свободную от закрепов на том основании, что брусок каменной соли, который был закручен в общем на 93° , имел винтовую линию ребер только в свободной части; концы, находившиеся под гипсом остались прямолинейными.

Нагревание газовой горелкой имело тот недостаток, что давление газа было неравномерно и все время приходилось регулировать винтом, что довольно неудобно и утомительно при большой продолжительности опыта.

Общим недостатком методов кручения является трение в подшипниках, которое особенно велико при почти статическом состоянии, т. е. при очень малой угловой скорости. Для исследования трения оси через колесо была перекинута нить и на ее концы были подвешены чашки с одинаковыми нагрузками P , затем на одну из чашек тонкой струей насыпался мелкий песок и взвешивалось то количество p песка, которое было необходимо для приведения во вращение оси. Исследование было произведено в 6 различных азимутах и за характеристику силы трения принималось среднее из 6 значений p . Для грузов $2P$ от 0 до 4000 грв. оказалось, что p выражается формулой:

$$p = (14.3 + 0.0158 \cdot 2P) \text{ грв.}$$

Кручение каменной соли было произведено при $P = 500$ грв, и, следовательно, силой трения p , которая при этой нагрузке составляет около $2-3\%$, принимая во внимание точность опытов, можно было бы пренебречь, но, повидимому, это не так. При весьма малой угловой скорости трение оказывает большое влияние и делает самое закручивание неравномерным. Вместо плавного возрастания угла φ , изменение происходит скачками. Легкие удары по оси, напр., карандашом, до известной степени устраняют этот недостаток и при более точных опытах необходимо было бы устроить автоматически действующую колодушку, которая могла бы производить легкие удары по оси.

Второй метод, которым я воспользовался в 1918 г. значительно точнее: прибор имел более совершенную конструкцию; трение, благодаря шариковым подшипникам, было уменьшено, значение длины L было вполне определено, угол кручения определялся по способу зеркала и

шкалы и нагревание электрическим током поддерживало температуру почти постоянной. Проволока накаливалась током от большой батареи аккумуляторов в 70 вольт и сила тока устанавливалась реостатом со скользящим контактом.

§ 5. *Описание опытов.* I. Опыты 19 и 20 мая 1912 г. В 9 ч. утра 19 мая была зажжена горелка. Приблизительно до 1 ч. дня температура постепенно искусственно повышалась до 395° и при этой температуре под действием груза в 500 грв. каменная соль закручивалась до $5\frac{1}{2}$ ч. вечера, затем на кожух была надета асбестовая крышка для еще большего повышения температуры и к 7 ч. температура повысилась до 420° . Испытывая небольшие колебания в ту и другую сторону, эта температура держалась до $11\frac{1}{2}$ ч. вечера. В ночь на 20 мая температура была снова опущена до 397° и на такой высоте поддерживалась мною всю ночь. Утром 20 мая с $7\frac{1}{2}$ ч. до $12\frac{1}{4}$ ч. температура была снова повышена до 418° и затем с $12\frac{1}{4}$ до 5 ч. вечера поддерживалась постоянной около $397\cdot5^{\circ}$.

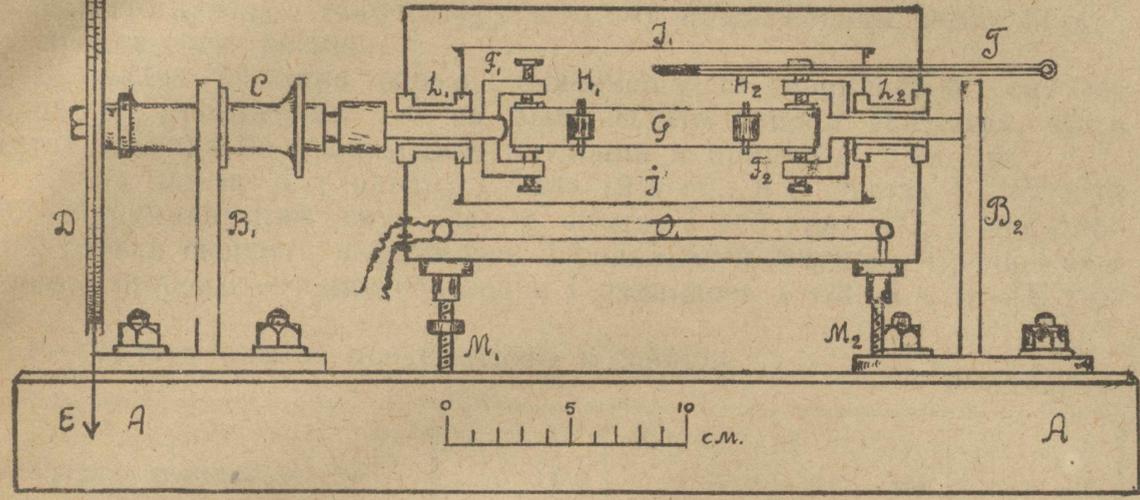
Откладывая по оси абсцисс время от начала кручения, а по оси ординат угол поворота, я получил достаточно плавную кривую, касательная к которой постепенно наклонялась к оси абсцисс. Начиная с 2 ч. 50 м. ночи до конца наблюдений, т. е. до 5 ч. вечера кривая имела вид прямой с незначительными изломами в ту и другую сторону в зависимости от изменения температуры. Это показывает, что стационарный режим при кручении был достигнут. За 14 ч. 9 м. равномерного кручения угол поворота оказался равным $15\cdot5$, а за все время опыта 93° .

II. Опыты 15—19 марта 1918 г. В 6 ч. 20 м. дня подвешен груз в 1000 грв. и с этого момента были начаты наблюдения при комнатной температуре, которая только 15 марта была $16\cdot3^{\circ}$, а 17—19 марта колебалась от $13\cdot5$ до $14\cdot5^{\circ}$. За среднее значение температуры в течение трех последних дней можно принять $14\cdot0^{\circ}$. Наблюдения были прерваны в 8 ч. 25 м. утра 19 марта. Два зеркальца были укреплены на соли на расстоянии $L=7\cdot0$ см. Две зрительных трубы с вертикальными шкалами были установлены на одном штативе. Левая шкала отражалась от левого зеркала и рассматривалась в правую трубу, а правая шкала, отражаясь от правого зеркала, наблюдалась в левую трубу. Среднее расстояние D от зеркал до тех частей шкал, которые были видны в трубы, было 120 см. Левое зеркальце за весь период повернулось от $35\cdot70$ см. до $36\cdot20$ см., а правое от $34\cdot83$ до $35\cdot08$ см. Согласно кривой стационарный режим можно считать в течение 46 часов.

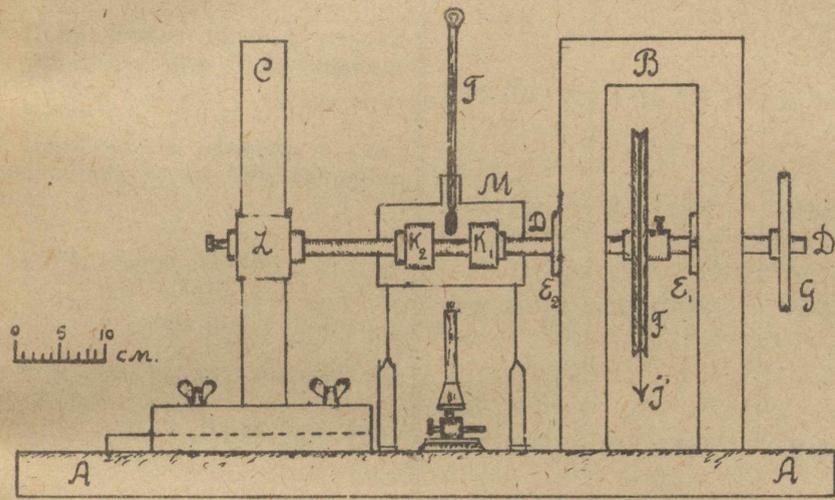
III. Опыты 30—31 марта и 1—2 апреля 1918 г. Прибор перенесен в подвальное помещение. Установка такая же, как в опытах II, но среднее расстояние $D=132\cdot5$ см. В 1 ч. 50 м. 30 марта был замкнут электрический ток силою в 1 ампер и был разомкнут в 2 ч. 25 м. 2 апреля. С вечера 31 марта отмеченная в наблюдениях температура все время равнялась $70\cdot0^{\circ}$. Комнатная температура колебалась в малых пределах около $13\cdot5^{\circ}$. Левое зеркальце с 2 ч. 30 м. 30 марта до конца наблюдений повернулось с $10\cdot66$ до $11\cdot61$ см., а правое—с $29\cdot71$ до $30\cdot16$ см.

IV. Опыты 5—6 апреля 1918 г. Электрический ток в 1\cdot5 ампер замкнут в 11 ч. 53 м. утра 5-го и разомкнут в 9 ч. 10 м. 6-го. С 12 ч. 58 м. дня 5-го до конца наблюдений левое зеркальце повернулось с $14\cdot51$ до $15\cdot52$ см. и правое—с $69\cdot69$ до $69\cdot80$ см. Среднее расстояние D можно было принять равным 133 см. Температура колебалась в пределах $131\cdot8$ — $131\cdot0^{\circ}$, при чем в последний период была $131\cdot0^{\circ}$.

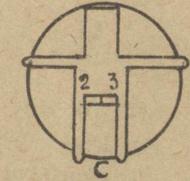
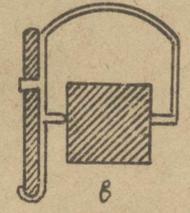
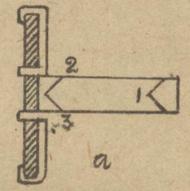
К работе В.Д. Кузнецова: Влияние температуры на внутреннее трение каменной соли.



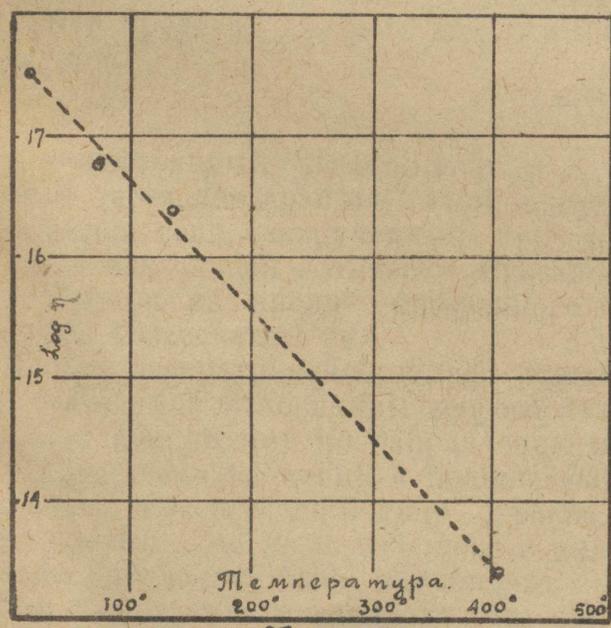
Чер. 2.



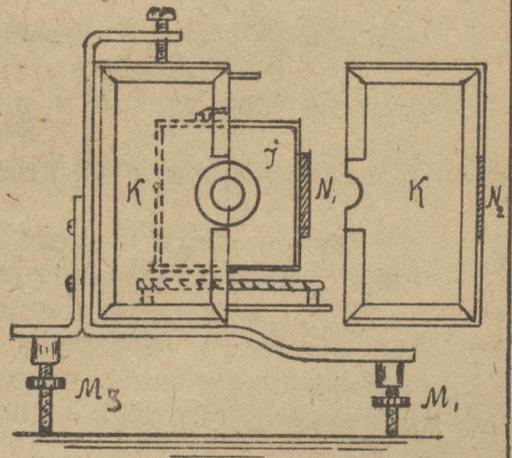
Чер. 1.



Чер. 4.



Чер. 5.



Чер. 3.

§ 6. *Результаты и выводы.* Для вычисления средней температуры, при которой происходило кручение я брал произведения из промежутков времени, в течение которых температура оставалась постоянной, на соответствующую температуру и сумму произведений делил на суммарному промежутков времени.

В опытах I длина образца каменной соли равнялась 6.1 см. Оба конца на протяжении 1.0 см. были залиты гипсом. Я считал, что в местах заливки не происходило кручения и принял $L = 4.0$ см.

Длина плеча d в опытах I была 12.4 см., а в опытах II—IV 8.75 см. Закручивающий груз был в опытах I 500 грв., а в II—IV 1000 гр. Угловая скорость выражалась в радианах и секундах. Среднее значение α стороны сечения образца в I равнялось 1.024, а в II—IV 1.03 см.

Результаты опытов представлены в таблице.

Таблица.

Средняя температура Θ° . . .	14.0	70.0	131	405
Продолжительность опыта в часах	86	72	21	30
Приращение угла кручения в радианах при стационарном режиме	$1.67 \cdot 10^{-4}$	$4.15 \cdot 10^{-4}$	$5.65 \cdot 10^{-4}$	$2.70 \cdot 10^{-4}$
Промежуток времени в сек., соответствующий приращению угла.	$1.65 \cdot 10^5$	$8.34 \cdot 10^4$	$4.38 \cdot 10^4$	$5.1 \cdot 10^4$
Коеф. внутр. трения η $\frac{\text{грм.}}{\text{см. сек.}}$	$3.2 \cdot 10^{17}$	$6.5 \cdot 10^{16}$	$2.5 \cdot 10^{16}$	$2.5 \cdot 10^{13}$
Коеф. вн. трения вычисл. по формуле: $-0.024 (\Theta - 14)$ $\eta_{\Theta} = \eta_{14} e$	$3.2 \cdot 10^{17}$	$8.0 \cdot 10^{16}$	$2.0 \cdot 10^{16}$	$2.5 \cdot 10^{13}$

Откладывая по оси абсцисс (черт. 5) температуру, а по оси ординат $\log \eta$, получаем прямую, следовательно, зависимость η от температуры в пределах 14—405° для каменной соли может быть выражена формулой:

$$-\alpha(\Theta - 14)$$

$$\eta_{\Theta} = \eta_{14} e$$

где α —постоянный коэффициент, а η_{14} —значение η при 14°. Проводя прямую через две крайние точки, получаем $\alpha = 0.024$.

Образец соли, закрученный при длине в 4 см. при 405° на угол 93°, был исследован оптически. Оказалось, что:

1. Брусок из вполне прозрачного превратился в непрозрачный и приобрел белесоватый вид.

2. При рассматривании шлифа толщиной около 3 мм. в обыкновенном свете были ясно видны веерообразно закрученные трещины, которые шли по видимому по направлению плоскостей спайности.

3. При рассматривании в поляризованном свете того же шлифа наблюдалась интерференционная окраска, которая свидетельствовала о превращении соли из изотропного в анизотропное тело. Угол угасания окраски определить было невозможно.

Эти наблюдения показывают, что при кручении каменная соль становится неоднородной и, по видимому, ее кристаллическая решетка

претерпевает разрушения. Остаточную деформацию при кручении кристаллов можно, повидимому рассматривать как перескок элементарных кубов из одного положения в другое, отстоящее от первого на целое кратное некоторого числа.

С точки зрения структуры каменной соли, рассматривая молекулярные силы, действующие между элементами решетки—ионами *Na* и *Cl*,—как силы электрические, представляет большой интерес исследовать кручение при различных температурах 1) каменной соли перпендикулярно плоскости спайности и 2) плавленной соли.

(Закончена обработкой 18.6.23).

А. К. Иванов.

Магнитные наблюдения в Минусинском крае в 1920 г.

Летом 1920 г. от Томского Университета состоялась экспедиция в пределы Минусинского края в составе представителей Кабинета Географии и Антропологии под общим руководством проф. С. И. Руденко. Выполняя намеченную мною работу по исследованию озер юго-западной части Ачинского уезда, в конце июля месяца я предпринял поездку по Минусинскому уезду для изучения ландшафтов его. Вместе с тем, имея поручение от Географического Отдела Института Исследования Сибири, я попутно произвел магнитные определения в 16 пунктах, перечисленных в следующей статье С. И. Шубина, любезно согласившегося вычислить данные произведенных наблюдений. Прибор, которым были произведены магнитные определения представлял собой упрощенную копию № 3 магнитного походного теодолита Гауера (Института Карнеги).

Еще перед поездкой мне пришлось в литературе встретить указание почвоведом Л. Прасолова, что в районе к западу от улуса Джирим—„верстах в 8 от Белого Юса, Емельянов видел две конические сопки, породы которых сильно действовали на магнитную стрелку“ (Труды почв.-ботан. экспедиций по исследованию районов Азиатской России. Часть I. Почвен. исследования 1910 г. под ред. К. Д. Глинки. Вып. 2. Л. Прасолов. Почвенно-географический очерк северо-западной части Минусинского уезда. СПб. 1914 г. стр. 12). О магнитной аномалии в районе Джирима предположительно высказался и проф. Б. П. Вейнберг, произведший здесь определения в 1915 г. Имея в виду подробно исследовать этот интересный район, я наметил его на конец маршрута.

К сожалению условия переезда по степи оказались неблагоприятны для хрупкого прибора. Несмотря на все предосторожности, после первого же переезда на лошадях труба оказалась попорченной и пришлось ограничиться лишь наблюдением горизонтальной слагающей. Во время дальнейшей поездки несколько раз выскакивало из под арретира стремячко для магнита и обрывалась нить. Приходилось вновь раскручивать нить и определять ее кручение, что замедляло работу. Наконец, уже после наблюдений в улусе Джирим, во время переезда в окрестности его, порвалась единственная запасная нить, заменить которую было уже нечем. Пришлось прекратить производство наблюдений именно в этом самом интересном районе.

Деятельным помощником моим во время всей поездки был студент Томского Университета М. П. Грязнов.