

## Магнитометрические исследования ледников Южный и Северный Энилчек (Иныльчек) в районе озера Мерцбахера

© 2015 г. А.Э. Шакиров

Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли, Республика Кыргызстан, Бишкек  
*a.shakirov@caiag.kg*

## Magnetometric investigation of glaciers Southern and Northern Inylchek adjacent to the Merzbacher Lake

A. Shakirov

Central-Asian Institute for Applied Geosciences (CAIAG), Kyrgyzstan Republic, Bishkek

Статья принята к печати 15 октября 2014 г.

*Аномальная зона, ледник, линеамент, магнитометрические исследования, морена, разлом, ригель, радиолокационные исследования, томограмма, экзарация.*

*Anomalous zone, exaration, fault, glacier, lineament, magnetometric investigation, moraine, radio echo sounding, rock bar (riegel), tomogram.*

Приведены результаты площадных магнитометрических исследований ледников Южный и Северный Энилчек в районе оз. Мерцбахера. В результате исследований под ледником Южный Энилчек установлен дугообразный ригель, который стал одной из причин поворота его правых потоков в сторону оз. Мерцбахера. Под ледником Северный Энилчек также обнаружен подковообразный ригельный выступ, который ранее создавал барьер для накопления донных осадков и сформировал своеобразную грунтовую намывную плотину, способствовавшую образованию достаточно широкой границы раздела между верхней и нижней частями оз. Мерцбахера.

Results of areal magnetometric investigation of glaciers South and North Enilchek located in the vicinity of the Merzbacher Lake are presented. These studies resulted in finding of the bow-shaped rock bar (riegel) under the South Enilchek Glacier that became one of causes to turn its right flows toward the Merzbacher Lake. Under the North Enilchek glacier the horseshoe-shaped riegel ledge was also detected, and that one created a barrier to accumulation of bottom sediments and, thus, formed a distinctive soil alluvial dam, which promoted formation of rather wide interface between upper and lower parts of the Merzbacher Lake.

### Введение

Изучение ледников Южный и Северный Энилчек связано с перспективами освоения водных, гидроэнергетических и минеральных ресурсов бассейна р. Сары-Джаз. В связи с планирующимся строительством каскада ГЭС в бассейне этой реки учёт объёмов и прогноз времени прорыва оз. Мерцбахера становятся весьма актуальными научно-практическими задачами. Известно, что во время прорыва вода выходит за пределы русла реки и её воздействию подвергаются объекты, построенные на припойменных участках на территории Киргизии. По сообщениям китайских специалистов, катастрофические паводки губительно сказываются и в нижнем течении р. Сары-Джаз, на территории Китая. В связи с этим результаты геофизических исследований могут повлиять на планирование работ и безопасное хозяйственное развитие в бассейне р. Сары-Джаз, в частности, на проектирование, строительство и безопасную эксплуатацию в этом регионе гидроэлектростанций.

Ледник Энилчек, состоящий из северной и южной частей, — крупнейший на Тянь-Шане

ледник дендритового типа. Длина ледника Северный Энилчек — 38,2 км, площадь — 181,2 км<sup>2</sup>; длина ледника Южный Энилчек — 58,9 км, площадь — 567,2 км<sup>2</sup>. Этот ледник берёт начало в районе пика Хан-Тенгри (6995 м), а его язык длиной 43,2 км при средней ширине 2,2 км опускается до отметки 2800 м.

Основная цель магнитометрических исследований Центрально-Азиатского института прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ, Бишкек) на первом участке — определение причин разделения оз. Мерцбахера на две части, на втором — выяснение причин поворота северных продольных сегментов ледника Южный Энилчек в сторону образовавшегося оз. Мерцбахера. Для достижения указанных целей необходимо знать геологическое строение пород, слагающих ложе ледников, подтвердить или опровергнуть наличие линеаментов и разрывных нарушений, определённых по геологическим признакам и космическим снимкам, а также выполнить картирование моренных отложений. Для решения поставленных задач сравнивали данные магнито-, электрометрических и радиолокационных

измерений: первые два метода позволяют по величине магнитных аномалий и электрического сопротивления оценить состав подстилающих ледник пород и границы их распространения, а второй и третий дают возможность определить толщину ледника. При интерпретации геофизических данных использовались космические снимки, служившие основой для сопоставления полученной геофизической информации с геологическими объектами и её привязки.

### Методы исследований

В 1960-х годах для изучения толщины, подлёдного рельефа и строения ледников и подстилающих пород в Антарктиде и Гренландии стали применять различные геофизические методы, из которых радиолокационный метод оказался наиболее эффективным [1]. Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), проведённое в средней части Центрального Тууксуйского ледника (Казахстан), позволило определить его мощность — 51 м. Скважина, пробуренная на этом участке, на глубине 52,5 м вскрыла обломочные породы донной морены. Хорошее соответствие результатов интерпретации ВЭЗ данным бурения показало большую разрешающую способность ВЭЗ для исследования ледников и перспективность применения методов электроразведки постоянным током при их исследовании [2].

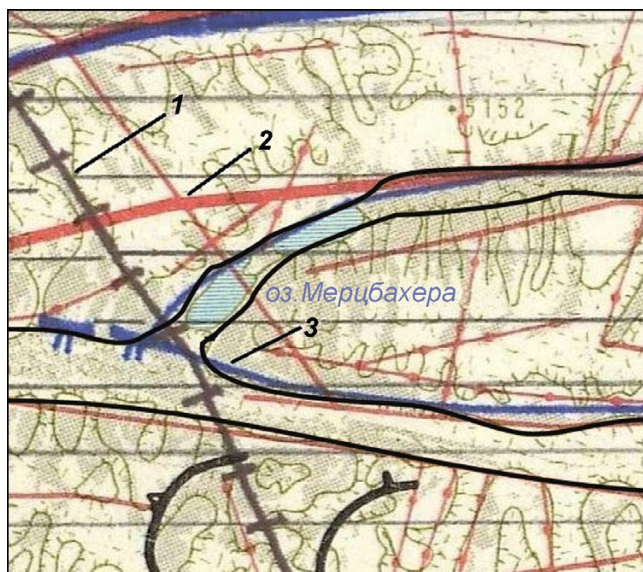
В 1990 г. Международная гляциологическая экспедиция, организованная Институтом географии РАН, провела комплексные исследования ледника Южный Энилчек, включая район оз. Мерцбахера. Радиолокационные исследования вели сотрудники лаборатории гляциоклиматологии Томского университета, Института географии РАН и Марийского политехнического института. Изучали толщину льда, внутреннее строение и подлёдный рельеф ледника [2].

Для корректного решения обратной задачи магнитометрии и изучения физических свойств горных пород используется комплекс геофизических методов. Так, радарные исследования базируются на излучении импульсов электромагнитных волн и регистрации сигналов, отражённых от различных объектов зондируемой среды; электроразведочные методы используют для изучения геоэлектрического разреза; сейсмические методы основаны на регистрации искусствен-

но и естественно возбуждаемых упругих волн; магнитометрия изучает магнитное поле Земли и его аномалии [3]. В 1961 г. магнитометрический метод был применён для измерения толщины антарктических ледников. Магнитные измерения с регистрацией вертикальной составляющей магнитного поля были выполнены на 90 пунктах в области купола Завадского ( $66^{\circ}44'$  ю.ш.,  $86^{\circ}24'$  в.д.). Анализ результатов показал, что магнитное поле не имеет чётко выраженной связи с подлёдным рельефом, поэтому магнитометрический метод пригоден лишь для очень приближённых оценок толщины ледников [1].

В 2012 г. геофизическая группа научно-инженерного центра «ГЕОПРИБОР» Института геомеханики и освоения недр НАН КР (г. Бишкек) в составе И.А. Торгоева, А.Д. Торгоева, Б. Оморова и С. Бюретте выполнила геоэлектрические исследования дна подпрудно-ледникового озера Мерцбахера на участке «перемычки» между нижним (основным) и верхним озёрами Мерцбахера. Измерения проводились аппаратурой GeoTom-MK1E100 RES/IP/SP производства компании GEOLOG2000 (Германия). Наибольшая величина разноса питающих электродов ( $\max L_{AB}$ ) составляла 400 м, что позволило изучить геоэлектрический разрез на глубину 80–90 м от дневной поверхности. Для получения конечных результатов данные обрабатывались с помощью программы RES2DINV. Геоэлектрические разрезы (томограммы) перемычки, построенные по данным этих исследований, рассмотрены далее [4].

Наземные магнитометрические исследования дендритового ледника Энилчек проводились в июле–августе 2011–2013 г. А.Э. Шакировым, Ш.Э. Усупаевым и Р.А. Усубалиевым (ЦАИИЗ). Исследования выполнены на двух участках: первый — перемычка между верхним и нижним озёрами Мерцбахера; второй — участок слияния ледников Южный и Северный Энилчек. В 2011 г. магнитометрические измерения на участке слияния ледников Южный и Северный Энилчек вели по пяти профилям (140 точек). Общая длина профилей составила более 12 км, и проходили они по холмистой, пересечённой зияющими трещинами и проталинами ледниково-моренной поверхности [6]. В качестве измерительных приборов на контрольном пункте и профилях использовались протонные магнитометры ММП-203 с погрешностью измерений



**Рис. 1.** Схема линеаментов и кольцевых структур исследуемого района:

1 — региональный линеамент; 2 — региональные и локальные линеаменты, выделенные в виде разломов; 3 — краевые разломы; см. текст

**Fig. 1.** Scheme of lineaments and ring structures in the investigated area:

1 — regional lineament; 2 — regional and local lineaments, allocated in the form of faults; 3 — boundary faults; see text

$\pm 1$  нТл. Топографическая привязка точек наблюдений велась мобильными GPS-приёмниками «Garmin etrex». Точность определения координат составляла  $\pm 4$  м. Полевые материалы обрабатывали с помощью программы «Surfer 8.0».

В 2012 г. проведена площадная магнитометрическая съёмка плотинной грунтовой перемычки, разделяющей на две части прорывоопасное оз. Мерцбахера на леднике Энилчек. Цели съёмки — определение глубинного строения ложа перемычки для выявления причин образования протяжённой грунтовой-ледовой плотины между двумя ваннами озера, а также выяснение её роли в режиме наполнения чаши естественного водоёма перед прорывами айсбергово-ледовой плотины [7].

В июле—августе 2013 г. на участке слияния ледников Южный и Северный Энилчек в районе оз. Мерцбахера выполнены площадные магнитометрические исследования для подтверждения наличия разрывных структур и предполагаемого ригеля под ледником, выявленных в результате профильных измерений в предыдущие годы. Магнитометрические измерения выполнены на 120 точках по 10 профилям, общая длина кото-

рых превысила 10 км. Площадь исследования составила около 4 км<sup>2</sup> [5].

На схеме линеаментов и кольцевых структур (рис. 1) синим цветом показаны краевые разломы, красным — региональные и локальные линеаменты, выделенные в виде разломов. Ледники даны чёрной линией. Из схемы видно, что нижнее оз. Мерцбахера отделяется в виде тектонического блока от его верхней части разрывными нарушениями и линеаменами. Региональный линеамент, простирающийся с юго-востока на северо-запад и показанный коричневой линией со штрихом, пересекает участок слияния ледников Южный и Северный Энилчек. Краевые разломы, а также региональные и локальные линеаменты определены по результатам космической съёмки 1980 г. Обработка космической информации, составление и подготовка её к изданию выполнена Государственным научно-исследовательским и производственным центром «Природа» ГУГК при Совете Министров СССР в 1983—1985 гг. Схема получена путём увеличения карты линеаментов и кольцевых структур масштаба 1:500 000 примерно до 1:100 000.

### Результаты исследований

Интерпретация полученных материалов начиналась с сопоставления полученной карты аномального магнитного поля с геологической картой района исследований и с установления формальных связей между элементами поля (знак, интенсивность, форма, протяжённость) и геологическими объектами. При сопоставлении геологических данных и аномального магнитного поля использовались принципы корреляции, суперпозиции и максимального соответствия. В результате обработки магнитометрических измерений 2011 г. по серии поперечных профилей на теле ледника Южный Энилчек и их качественной и количественной интерпретации получены следующие результаты:

1) инструментально подтверждён выделенный ранее на основе дешифрирования космических снимков региональный линеамент, простирающийся с юго-востока на северо-запад; впервые определена его ширина, составляющая примерно 160 м;

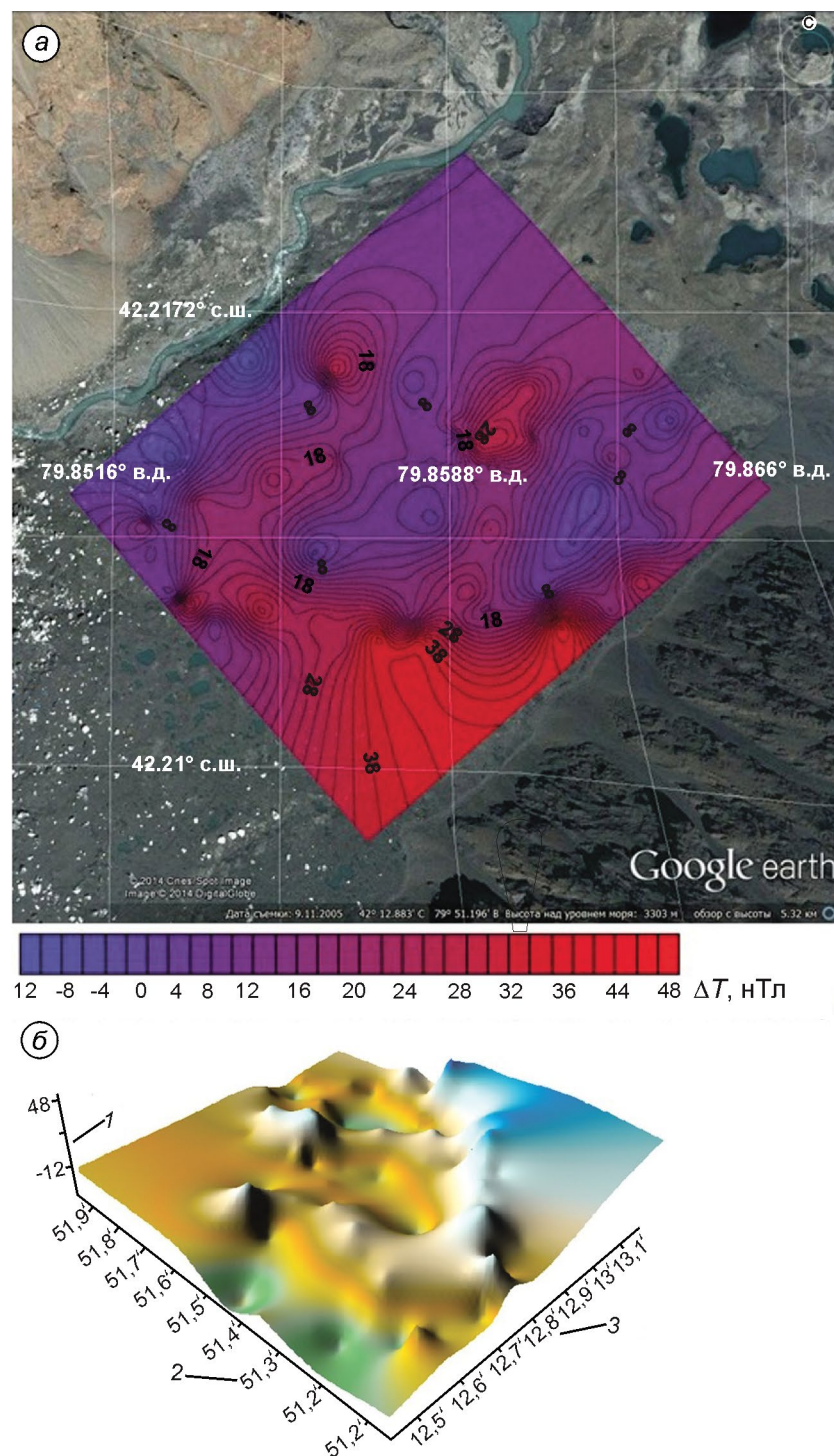
2) выявлена скрытая под ледником дугообразная аномальная зона шириной 150 м, ко-

торая предварительно отождествлялась с наличием ригеля;

3) успешно решена задача картирования моренных отложений в результате сгущения пунктов наблюдения на профиле пр–3 [6].

Результаты площадной магнитометрической съёмки на участке перемычки представлены в

виде космического снимка с наложенной на него картой аномального магнитного поля  $\Delta T$  и его 3D-изображения (использован космический снимок из программы «Google Earth» 2005 г. GeoBasis-DE/BKG/Image Landsat) (рис. 2). В результате интерпретации карты аномального магнитного поля и её 3D-изображения установлено, что ложе пе-



**Рис. 2.** Космический снимок (а) площади исследования с наложенной картой изолиний аномального магнитного поля  $\Delta T$  (нТл) и 3D-изображение карты аномального магнитного поля ( $\Delta T$ ) (б) в районе «перемычки» между верхним и нижним оз. Мерцбахера:

1 – значения аномального магнитного поля  $\Delta T$  (нТл) (от –12 до 48); 2 – долгота 79°51'02" – 79°51'56"; 3 – широта 42°12'31" – 42°13'11"

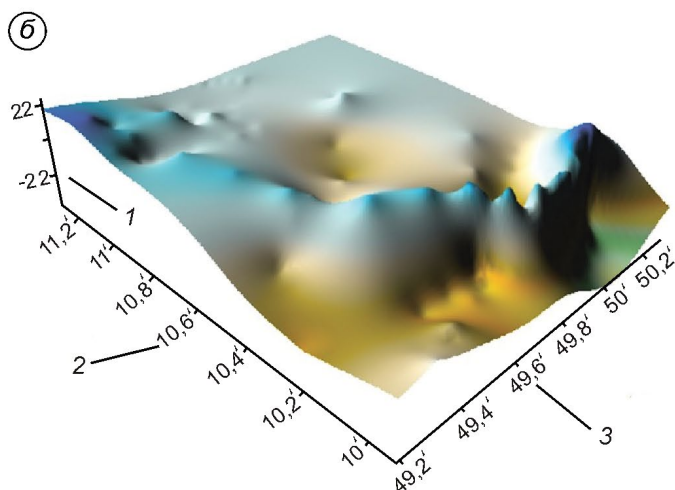
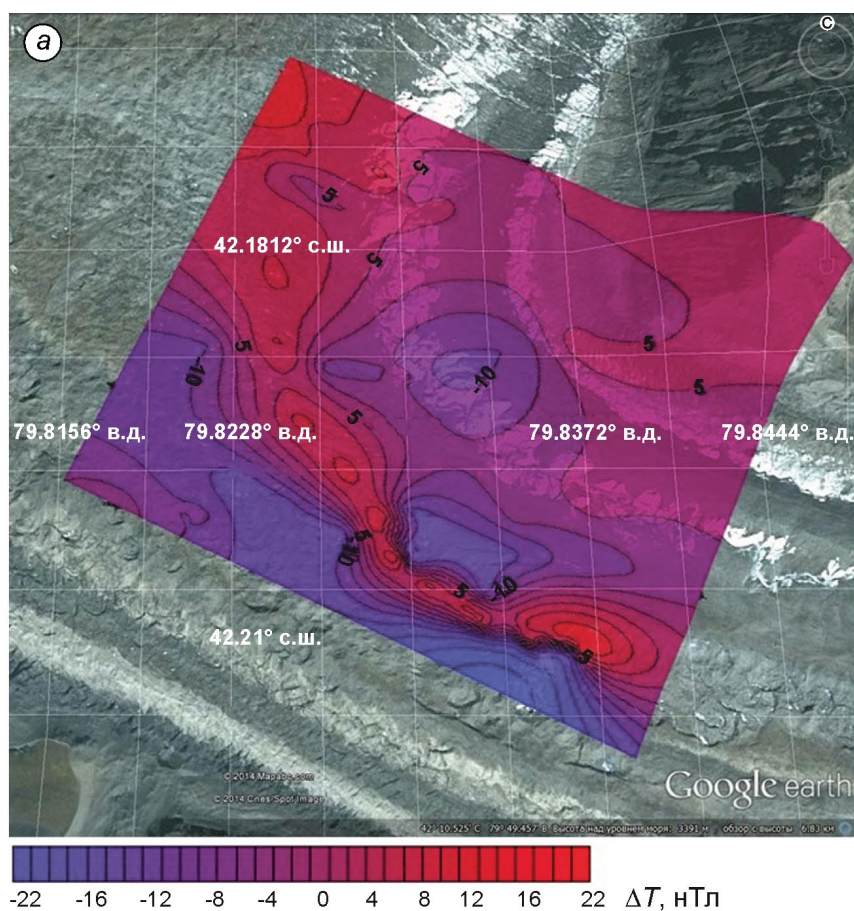
**Fig. 2.** Space image (a) of the studied area with the imposed card of isolines of an abnormal magnetic field  $\Delta T$  (nTl) and the 3D-image of a card of an abnormal magnetic field ( $\Delta T$ ) (b) around «dam» between top and bottom Merzba-her Lake:

1 – values of an abnormal magnetic field  $\Delta T$  (nTl) (from –12 to 48); 2 – longitude 79°51'02" – 79°51'56"; 3 – latitude 42°12'31" – 42°13'11"



ремычки имеет подковообразный ригельный выступ, обращённый дугой на запад в сторону ледовой плотины озера, который ранее создавал барьер для накопления донных осадков и за счёт которого сформировалась своеобразная грунтовая намывная плотина, способствовавшая образованию достаточно широкой границы раздела между верхней и нижней частями оз. Мерцбахера [7].

Результаты площадной магнитометрической съёмки на участке слияния ледников Южный и Северный Энилчек также представлены в виде космического снимка с наложенной картой аномального магнитного поля  $\Delta T$  и его 3D-изображения (использован космический снимок из программы «Google Earth» 2005 г. GeoBasis-DE/BKG/Image Landsat) (рис. 3) [5].



**Рис. 3.** Космический снимок (а) площади исследования с наложенной картой изолиний аномального магнитного поля  $\Delta T$  (нТл) и 3D-изображение карты аномального магнитного поля  $\Delta T$  (б) участка слияния ледников Южный и Северный Энилчек:

1 – значения аномального магнитного поля  $\Delta T$  (нТл) (от -22 до 22); 2 – широта  $42^{\circ}09'57'' - 42^{\circ}11'17''$ ; 3 – долгота  $79^{\circ}48'57'' - 79^{\circ}50'52''$

**Fig. 3.** Space image (a) of the studied area with the imposed card of isolines of an abnormal magnetic field  $\Delta T$  (нТл) 3D-the image of a card of an abnormal magnetic field ( $\Delta T$ ) (б) a site of merge of glaciers Southern and Northern Enilchek:

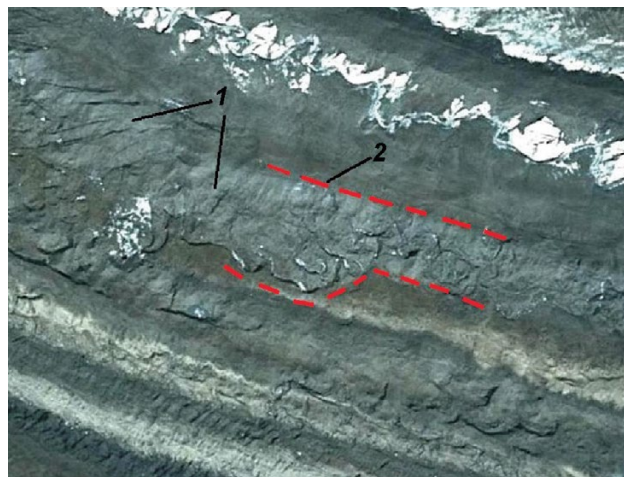
1 – values of an abnormal magnetic field  $\Delta T$  (нТл) (from -22 to 22); 2 – latitude  $42^{\circ}09'57'' - 42^{\circ}11'17''$ ; 3 – longitude  $79^{\circ}48'57'' - 79^{\circ}50'52''$

### Обсуждение результатов

Троговая долина ледника Южный Энилчек сложена в основном силурийскими андезитовыми порфиритами с магнитной проницаемостью  $\chi = 1000 \div 5000 \times 10^{-6}$  СГС. Анализируя карту аномального магнитного поля, можно предположить, что интенсивные положительные аномалии приурочены к неразрушенным участкам, а отрицательные — к разрушенным. Ледник Южный Энилчек, достигнув при своём движении регионального линеамента (см. рис. 2), инструментально подтверждённого в 2011 г. А.Э. Шакировым и Ш.Э. Усупаевым, начал «вспахивать» ослабленные трещиноватые горные породы ложа ледника, формируя «ванны выпаживания» и соответственно ригель, который и стал барьером при движении его правых потоков. На рис. 3, а видно, что интенсивная положительная аномалия дугообразной формы, вызванная плотными неразрушенными коренными породами ложа ледника, интерпретируемыми как ригель, совпадает в плане с мореной той же дугообразной формы. Форма ригеля также повторяет направление движения правых потоков ледника Южный Энилчек, поэтому можно предположить, что данный ригель служит упором при движении ледника и вызывает поворот его правых потоков в сторону оз. Мерцбахера.

Дугообразный ригель, установленный по результатам исследований 2013 г. (см. рис. 3, б), совпадает в плане с выявленной в 2011 г. и скрытой под ледником дугообразной аномальной зоной шириной 150 м и с предполагаемым ригелем, обнаруженным по результатам радиолокационного зондирования ледника Южный Энилчек в 1990 г. (использован космический снимок из программы «Google Earth» 2005 г. GeoBasis-DE/BKG/Image Landsat). Тело ледника Южный Энилчек образовано путём слияния нескольких потоков, выходящих из относительно мелких ледников. Более мощные правые потоки ледника Южный Энилчек углубили своё ложе сильнее по сравнению с маломощными потоками левых боковых долин.

Наличие ригеля доказывается также с помощью космического снимка верхней части площади исследования (рис. 4) (использован космический снимок из программы «Google Earth» 2005 г. GeoBasis-DE/BKG/Image Landsat). На нём отчётливо видно, как один из потоков ледника с мо-



**Рис. 4.** Космический снимок верхней части участка исследования:

1 — поперечные трещины; 2 — границы морены

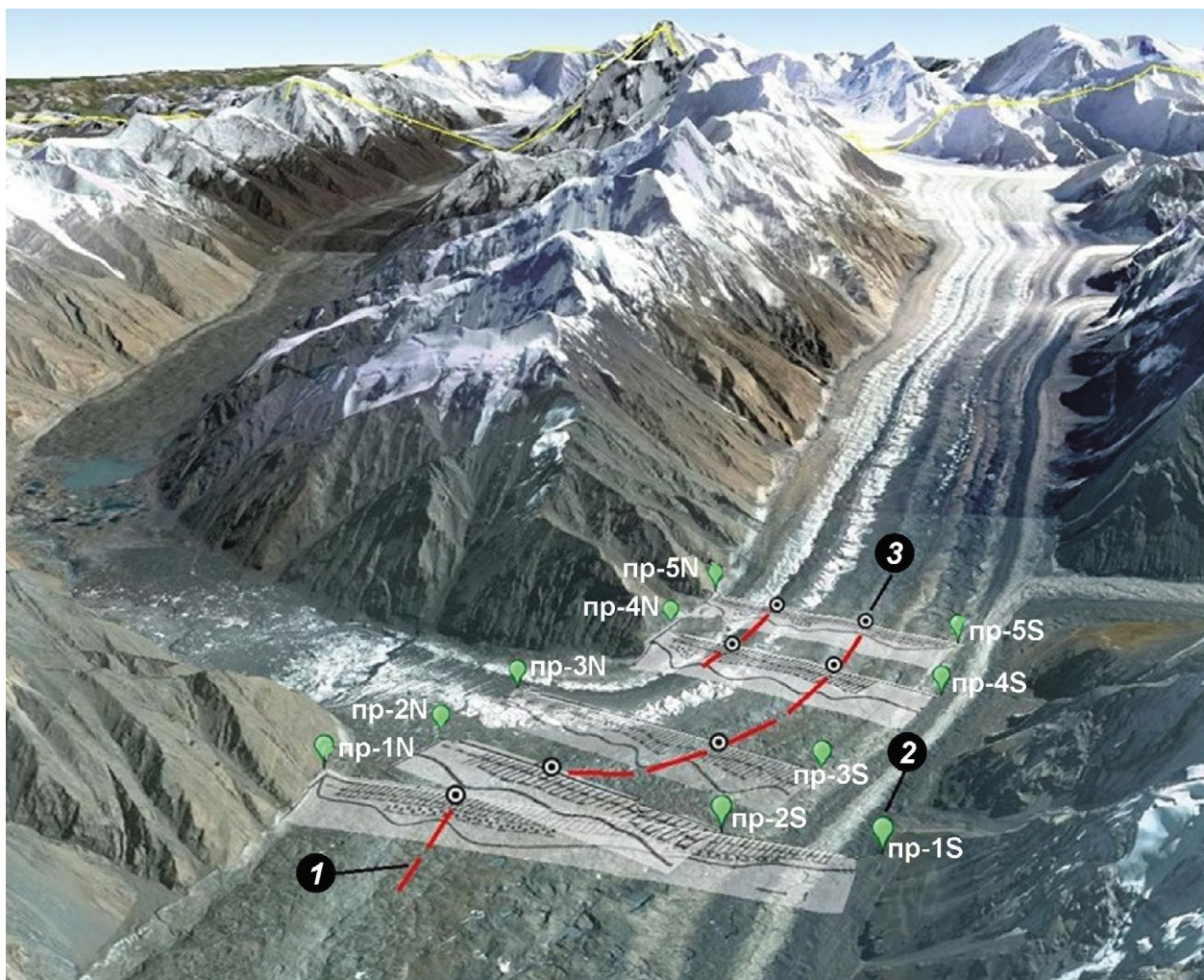
**Fig. 4.** Space image of the top part in the studied area:

1 — cross-section cracks; 2 — moraine borders

реной серого цвета наплывает на соседний поток с мореной коричневого цвета и увеличивается в ширине со 180 до 300 м. Через 500 м вниз по движению ледника появляются поперечные трещины. Возникает вопрос: чем вызвано увеличение ширины этого потока ледника? Вероятно, место, где морена серого цвета увеличивается в ширине, и есть начало ригеля. При своём движении поток ледника с мореной серого цвета, достигнув ригеля, упирается в него. Задние части потока начинают давить на передние, и за счёт возрастания энергии этого потока она выдавливается влево и перекрывает соседний поток с мореной коричневого цвета. Сравнение космических снимков разных лет показало, что при движении ледника это место (начало ригеля) не меняет своих координат. Скорость движения ледника Южный Энилчек, по данным GPS-измерений приёмником TOPCON TPS GB-1000 комплексной станции ICEDAM, составила 94 м/год.

В результате площадной магнитометрической съёмки выделена интенсивная положительная аномалия дугообразной формы (см. рис. 3, а), интерпретируемая автором как ригель также дугообразной формы, который служит упором при движении ледника Южный Энилчек и вызывает изменение его направления в сторону оз. Мерцбахера [5]. Анализ графиков, построенных в результате исследований 1990 г., позволил подтвердить предположение о нали-





**Рис. 5.** 3D-рисунок профилей радиолокационного зондирования с графиками рельефа дна и предполагаемыми ригелями (1990 г.):

1 – предполагаемые ригели; 2 – точки начала и конца профилей; 3 – точки максимумов на графиках, отождествляемых с вершинами предполагаемых ригелей

**Fig. 5.** 3D-image of profiles of radar sounding with schedules of bottom relief and prospective thresholds (1990):

1 – prospective thresholds; 2 – points of the beginning and the end of profiles; 3 – points of maximum on the schedules identified with tops of prospective thresholds

ции ригелей на исследуемом участке слияния ледников Южный и Северный Энилчек: «В районе озера Мерцбахера на поперечных разрезах языка (пр–1–5) у левого борта и вблизи оси ледника последовательно прослеживаются углубления на ложе, которые, по-видимому, отражают сложную динамику течения ледника и влияние на нее ледников – притоков» [2].

Если предположить, что ложе ледника, определённое из количественных измерений его толщины, коррелирует с рельефом троговой долины, то, проецируя точки максимумов графиков радиолокационных исследований (предвари-

тельно интерпретируемые как вершины ригелей) на поверхность ледника и соединив их, получим линии (красные пунктирные), которые показывают предполагаемые ригели на поверхности ледника (рис. 5).

Анализ результатов радиолокационного зондирования ледника Южный Энилчек в пределах профилей пр–1–5 позволил выделить три крупных ригеля, образовавшихся в результате экзарационной деятельности ледника. Ригели на участке слияния ледников Южный и Северный Энилчек – продольные и дугообразные (см. рис. 5). *Первый ригель* – дугообразный, его длина – 2,5 км,

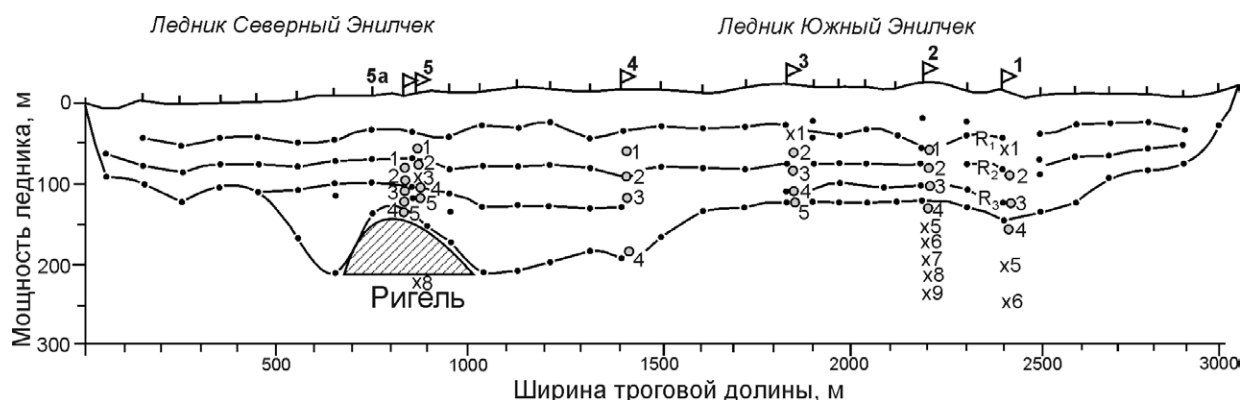


Рис. 6. Разрез ледника Южный Энилчек по поперечному профилю пр–1 (1990 г.)

Fig. 6. Cross-section of Southern Enilchek Glacier on the profile pr–1 (1990)

а ширина основания – 250–300 м. Он расположен в пределах профилей пр–2–5. Высота ригеля – 100 м. Второй ригель находится у северного борта ледника Южный Энилчек в пределах профилей пр 4–5, ширина основания ригеля – 200 м, высота с северной стороны – 100 м, с южной – 50 м. Третий предполагаемый ригель, определённый по радарным данным, показан на разрезе ледника Южный Энилчек по поперечному профилю пр–1 (1990 г.) (рис. 6) [2]. Вероятно, здесь мы имеем дело с продольным ригелем, образовавшимся в месте слияния двух ледников, которые усиленно выпахивают ложе и переуглубляют долину. Третий ригель расположен между ледником Южный Энилчек и так называемой «мёртвой», неподвижной частью ледника Северный Энилчек.

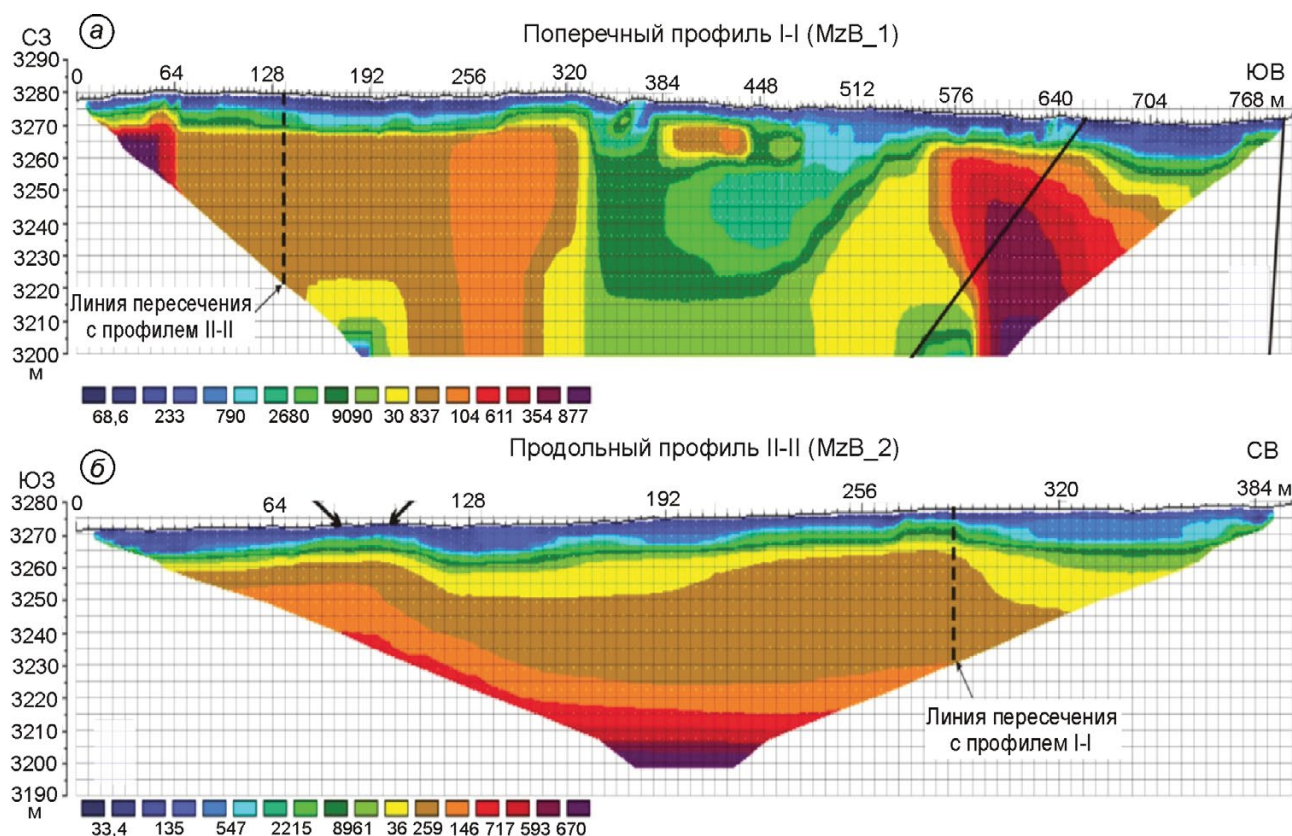
На рис. 6 показан детальный поперечный разрез ледника Южный Энилчек по профилю пр–1. По нему можно определить примерные размеры предполагаемого трапециеобразного ригеля. Высота ригеля составляет 80 м, ширина основания – 350 м, в верхней части ригель сужается до 100 м. По сторонам ригеля чётко выделяются ванны выпахивания глубиной до 100 м. Северная ванна выпахивания – V-образная, ширина верхней части ванны около 300 м, предположительно она была выработана при движении ледника Северный Энилчек. Южная, более пологая ванна выпахивания выработана ледником Южный Энилчек [2].

Результаты электроразведочных работ методом ВЭЗ на участке перемычки представлены в виде геоэлектрических разрезов, полученных с помощью программы RES2DINV (рис. 7). Вертикальная шкала разрезов – глубина зондиро-

вания в метрах, горизонтальная шкала – длина профиля в метрах, цветная шкала – удельное сопротивление пород, слагающих разрез, в Ом·м. Анализируя разрез продольного профиля II–II перемычки, можно констатировать, что невысокие значения удельного электрического сопротивления (от синего до коричневого цвета) отвечают переслаиванию моренных, донных отложений и льда, а высокие (от коричневого до малинового цвета), скорее всего, соответствуют коренным породам, слагающим ложе перемычки. Разрез поперечного профиля I–I даёт более интересную информацию. В центральной части разреза наблюдается переслаивание пород с невысоким сопротивлением. Вероятно, это – ванна выпахивания, заполненная прослоями льда, моренных и донных отложений. Высокие значения удельного электрического сопротивления в центре и правой части разреза, по всей видимости, фиксируют ригели. Положение этих ригелей в плане совпадает с ригелями, выделенными по данным магнитометрии (см. рис. 2) [4].

Профиль I–I ВЭЗ проходит рядом с профилем 14 радиозондирования, поэтому есть возможность сравнить результаты этих двух методов. На обеих томограммах ВЭЗ (см. рис. 7), особенно отчётливо на разрезе II–II, выделяются четыре разных по сопротивлению слоя: 1) № 1 – верхний слой мощностью от 5 до 10 м с удельным сопротивлением от 20 до 900 Ом·м, выделяется на томограммах сине-голубым цветом; 2) № 2 – находится ниже приповерхностного слоя № 1, характеризуется удельным сопротивлением от 1000 до 13 000 Ом·м и залегает до глубин 15–17 м от дневной поверхности; на томограммах этот





**Рис. 7.** Геоэлектрические разрезы (томограммы) «перемычки» по профилям:

*a* – поперечный профиль I–I; *б* – продольный профиль II–II

**Fig. 7.** Goelectric cuts (tomograms) of «dam» on profiles:

*a* – cross-section profile I–I; *б* – longitudinal profile II–II

волнообразный в продольном сечении слой выделен оттенками зелёного цвета; 3) № 3 – его удельное сопротивление от 14 000 до 40 000 Ом·м, выделен жёлто-коричневым цветом, залегает на глубинах более 20–23 м; 4) № 4 – сопротивление более 100 000 Ом·м, представлен на томограммах оттенками красно-бурого цвета.

На геоэлектрическом разрезе I–I между 320-м и 576-м погонными метрами выделяется участок с низким удельным электрическим сопротивлением ( $\rho \leq 10\,000$  Ом·м) с зоной каплеобразной конфигурации в поперечном сечении в интервале между 460–520 пог. м с удельным электрическим сопротивлением  $\rho \leq 600$  Ом·м, как бы затекающей на глубину до 40 м от поверхности. Указанная зона каплеобразной формы представляет собой глубокий талик в массиве мерзлоты и льда, в верхней части которого, ниже отметки 3270 м, формируется поток воды, возможно просачивающейся из Верхнего озера или из термокарстовых озёр, разбросанных на конечно-моренном

комплексе Верхнего озера. Это предположение, в случае невозможности проведения здесь в будущем разведочного бурения, требует проверки другими геофизическими методами.

Лёд хорошо прослеживается на краевых участках геоэлектрического разреза I–I, особенно на юго-восточном борту ледниковой долины. Отметим, что на поверхности рассматриваемого участка в интервале между 320–800 пог. м имеются многочисленные термокарстовые воронки, а сама поверхность гипсометрически находится ниже северо-западной части долины. Совокупность этих особенностей также может свидетельствовать о существенном протаивании погребённого льда на указанном участке профиля I–I. Погребённый ледниковый лёд сверху покрыт слоем слоистых озёрно-ледниковых отложений мощностью 5–10 м.

На юго-восточном фланге разреза I–I, между 660 и 760 пог. м, на томограмме выделяется корытообразная зона низких сопротивлений, харак-

терных для талых пород глубиной до 8–10 м от поверхности. Более глубокое протаивание массива на этом участке с поверхности, скорее всего, связано с обогревающим действием потока талых вод, стекающих с карово-висячего ледника южного борта долины Северного Энилчека. Таким образом, возникновение термоэрозионных понижений на юго-западном фланге разреза I–I, т.е. на правом борту долины, обусловлено обогревающим действием потоков талых вод, просачивающихся в мёрзлые флювиогляциальные отложения или в толщи погребённого под ними льда. Известно, что талые воды прокладывают в толще ледникового тела каналы по многочисленным трещинкам.

Мёртвый лёд на исследуемом участке перемычки, прикрытый чехлом моренных и флювиогляциальных отложений, медленно тает, что приводит к перестройке внутреннего строения флювиогляциальных отложений вплоть до поверхности и вызывает термоэрозионные деформации. Именно по этой причине на рассматриваемом участке отмечаются процессы термокарста и инверсии рельефа. Таким образом, результаты электрозондирования по профилю I–I показывают, что ледниковый лёд на перемычке пронизан таликами, в том числе глубоким таликом с потоком воды, просачивающейся из расположенных выше термокарстовых озёр и/или из Верхнего озера [4].

По данным радиозондирования, перемычка между приледниковыми озёрами по профилю 14 также имеет слоистое строение и состоит преимущественно из льда толщиной до 66 м. Выделено четыре слоя, различающихся по скорости распространения радиоволн: А2 — мощность 33,3 м; Б2 — 8,6 м; В2 — 1 м; Г2 — 23,1 м. Причём слой В2 выделяется лишь на небольшом участке профиля: вблизи водного потока, соединяющего озеро перемычкой. В верхнем слое А2 относительно высокую скорость распространения радиоволн можно объяснить большим содержанием во льду примесей с низкой диэлектрической проницаемостью. К таким примесям относятся, например, воздух или кремнезём, у которых плотность равна или близка к единице. Более низкая скорость распространения радиоволн в слое Б2 объясняется повышенным содержанием воды во льду.

Для слоя В2 характерна ещё более низкая скорость распространения радиоволн. С учётом по-

грешности измерений она соответствует скорости распространения радиоволн в пресной воде — приблизительно 33 м/мкс. Самый нижний слой Г2 характеризуется повышенной скоростью распространения радиоволн, которую, как и для слоя А2, можно объяснить большим содержанием во льду примесей с низкой диэлектрической проницаемостью [2]. Сравнение результатов электро- и радиозондирования показало что и в первом, и во втором случаях общая мощность перемычки составляет 60–70 м. В обоих случаях выявлено также наличие в разрезе перемычки четырёх слоёв, различающихся по мощности.

### Выводы

1. Впервые в районе слияния ледников Южный и Северный Энилчек проведены площадные магнитометрические исследования. В результате исследований выделен подлёдный ригель дугообразной формы, который в магнитном поле отражается интенсивной положительной магнитной аномалией. Ригель служит барьером при движении ледника Южный Энилчек и поворачивает его правые потоки, создающие ледовую плотину у оз. Мерцбахера (см. рис. 3).

2. Впервые по измерениям магнитного поля под грунтовой «перемычкой», разделяющей оз. Мерцбахера на верхнюю и нижнюю ванны, обнаружен подковообразный ригельный барьер, обращённый дугой на запад в сторону ледовой плотины озера. Ригель служил барьером для накопления донных осадков и создал грунтовую намывную плотину, разделившую оз. Мерцбахера на две части (см. рис. 2).

3. По измерениям магнитного поля инструментально подтверждён выделенный ранее на основе дешифрирования космических снимков региональный линеамент и впервые оценена его ширина — 160 м.

4. Комплексные геофизические (радиолокационные, электроразведочные и магнитометрические) измерения [8] строения ледникового ложа разных лет позволили установить разрывные тектонические подлёдные нарушения и ригели, а также выяснить их роль в образовании прорывоопасного ледникового оз. Мерцбахера.

**Благодарности.** Автор выражает благодарность Ш.Э. Усупаеву, Р.А. Усубалиеву, А.С. Дудашвили,

А.Б. Джуманалиеву, О.В. Буюеву за помощь в проведении полевых измерений и подготовке данной статьи.

### Литература

1. Богородский В., Бенгли Ч., Гудмандсен П. Радиогляциология. Л., Гидрометеиздат, 1983. 312 с.
2. Мачерет Ю.Я., Никитин С.А., Бабенко А.Н., Веснин А.В., Боброва Л.И., Санкина Л.В. Толщина и строение ледника Южный Иньльчек по данным радиозондирования // МГИ. Вып. 77. 1992. С. 86–97.
3. Никитский В.Е., Бродовой В.В. Комплексирование геофизических методов при решении геологических задач. М.: Недра, 1976. 496 с.
4. Торгоев И.А., Торгоев А.Д., Оморов Б., Бюретте С. Отчёт по результатам геофизических исследований перемычки подпрудно-ледникового озера Мерцбахера. Бишкек: изд. НИЦ «ГЕОПРИБОР», НАН КР, 2012. 20 с.
5. Шакиров А.Э. Изменение направления движения ледника Южный Энилчек // VI Междунар. конф. молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях». Бишкек: изд. Международного научно-исследовательского центра – Геодинамический полигон. Научная станция РАН (МНИЦ – ГП НС РАН), 2014. С. 73–75.
6. Шакиров А.Э., Усупаев Ш.Э. Геофизическое зондирование ледника Южный Энилчек в районе высокогорного прорывоопасного озера Мерцбахера // Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Бишкек: изд. МЧС КР, 2012. С. 679–683.
7. Шакиров А.Э., Орунбаев С.Ж., Усупаев Ш.Э. Комплексное геофизическое зондирование многолетнемерзлых грунтовых толщ ледника Северный Энилчек на «перемычке» озера Мерцбахера // V Междунар. конф. молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях». Бишкек: изд. Международного научно-исследовательского центра – Геодинамический полигон. Научная станция РАН (МНИЦ – ГП НС РАН), 2013. С. 131–139.
8. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Л.: изд. ЛГУ, 1963. 456 с.

### Summary

Investigation of the South and North Enilchek glaciers was related to prospects for future development of water, hydropower, and mineral resources of the Sary-Jaz River basin. The main objective of the magnetometric studies at the first locality was to

elucidate causes to divide the Merzbacher Lake into two parts, and on the second one it was the finding out why the north longitudinal segments of the South Enilchek Glacier turned toward the newly formed the Merzbacher Lake. To achieve these objectives, it was necessary to solve the following problems: to determine the geological structure of rocks forming the glacier bed; to prove or to disprove a presence of lineaments and faults defined from geological features and satellite images, as well as to perform mapping of morainic deposits. To solve these problems we compared data of radar (1990), magnetometric (2011–2013), and electrometric (2012) measurements. The magnetometric measurements of 2011 made possible to obtain the following results: 1) the regional lineament that was earlier identified from interpretation of the satellite images and extending from the south-east to the north-west had been instrumentally verified; its width of about 160 m was first determined; 2) the bow-shaped anomalous zone of width 150 m hidden under the glacier had been revealed. It was previously identified with the riegel presence; 3) the mapping of the moraine deposits was successfully performed.

The areal magnetometric survey near the «dam» made possible to find out that its bed had a horse-shoe-shaped riegel ledge that earlier created a barrier for accumulation of bottom sediments and, thus, formed a distinctive alluvial dam facilitating formation of rather wide interface between upper and lower parts of the Merzbacher Lake. As a result of the areal magnetometric survey performed near the North and South Enilchek glaciers' coalescence, the subglacial bow-shaped riegel was detected that served as one of causes to turn its right flows toward the Merzbacher Lake. Analysis of results of the above radar, magnetometric, and electrometric measurements allowed the following: 1) to identify a presence of rieglers and to determine their roles in formation of the glacial Merzbacher Lake that may constitute a threat of water breakthrough; 2) to determine the geological structure of rocks forming the glacier beds; 3) to prove presence of lineament and tectonic faults defined from geological features and satellite images as well as to perform mapping of moraine deposits. Results of geophysical studies presented in the paper make highly important scientific and practical contribution into solution of the problem of future construction of a cascade of hydropower stations in the Sary-Jaz River basin.