



УДК 910.22, 551.324.63 (571.54)
DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.25.54>

Современные методы наземного изучения горных ледников юга Восточной Сибири

Е. Н. Иванов

Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск

Аннотация. Разработана специальная методика сбора и обработки пространственных и климатических данных на труднодоступных территориях юга Восточной Сибири, имеющих современное оледенение. Методика основана на полевых исследованиях, геодезической съемке, лазерном сканировании, измерении остаточной прочности морен, анализе космических снимков, применении ГИС-технологий, энергонезависимых температурных датчиков (термохрон) и обобщении материалов в виде базы данных. В данной статье внимание заостряется на методах наземного изучения горных ледников как основного источника получения фактического материала. К таким методам относятся круглогодичные метеорологические наблюдения в непосредственной близости от изучаемых объектов с помощью терморегистраторов, геодезическая привязка реперных точек на поверхности объекта с помощью портативных навигационных устройств, георадарная съемка массивности ледяных тел с поверхности ледников, измерение остаточной прочности моренных отложений склерометром, лазерное сканирование склонов с целью выявления их геоморфологических особенностей. Применение этих методов в дополнение к дистанционным средствам изучения земной поверхности позволяет проводить комплексные исследования современного оледенения горных хребтов Прибайкалья Кодар, Байкальский, Баргузинский, Восточного Саяна, а также фиксировать степень участия нивально-гляциальных образований в геоморфологических процессах.

Ключевые слова: горные ледники, климатические изменения, методы исследования, полевые наблюдения, георадарная съемка.

Для цитирования: Иванов Е. Н. Современные методы наземного изучения горных ледников юга Восточной Сибири // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2018. Т. 25. С. 54–65. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.25.54>

Введение

Для выявления динамики нивально-гляциальных геосистем самое необходимое условие – сбор достоверных данных, а также приведение этих данных к сопоставимому друг с другом виду. Чтобы сравнивать климатические, ландшафтные, картографические и биологические данные, нужно выработать определенную систему, или шкалу, соответствия этих данных между собой на каждом из ключевых участках и для всех таких геосистем в целом. Разработка такой системы осложняется разным уровнем доступности информации по каждому ключевому участку, поэтому создание проекта ГИС, концентрирующего данные на единой картографической основе с соответствующей базой данных для последующего автоматизированного анализа этой информации, является наиболее эффективным способом решения поставленных задач.

Для полного осознания закономерностей нужны количественные методы оценки моделирования географических процессов и структур. Прямым следствием изменившихся внешних условий являются перемены как в пространственном положении ледника (площадь, гипсометрия), так и в параметрах его массоэнергообмена – внешнего (абляция, аккумуляция) и внутреннего (скорость движения льда) [Accelerated loss of ... , 2013]. На представленной территории информационная обеспеченность в данное время покрывает только изменения пространственного положения ледников.

В данной статье под современными методами наземного изучения горных ледников понимается комплекс технологий, применяемый исследователями высокогорных территорий юга Восточной Сибири (хребты Кодар, Байкальский, Баргузинский и Восточный Саян) в полевых условиях в настоящее время.

Материалы и методы

Современное оледенение региона сохраняется во многом благодаря накапливаемому за зимний период холоду [Иванов, 2015]. В мерзлотоведении и гляциологии нет единой выраженной системы числового отражения сохраненного холода. Существуют приемы выражения охлаждения в физических величинах в виде слоя конжеляционного льда, который можно наморозить из талой воды в заданных условиях охлаждения, либо величиной теплотрат для таяния определенной величины льда [Шумский, Красс, 1983]. Для измерения могут использоваться только известные метеопоказатели. Наиболее простой – сумма отрицательных температур, которые получены при анализе данных метеостанций и с которыми легко проводить сравнительный анализ. Опыт автора показал, что этот подход вполне оправдан, по крайней мере с позиций усредненных характеристик изучаемых явлений. Такую величину удобно без дополнительных расчетов сравнивать между различными территориями.

Сбор метеорологических данных осуществляется путем трансформации в цифровой вид и статистического анализа архивных материалов Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН и статистической обработки и генерализации данных срочных наблюдений метеостанций районов ключевых участков [Напрасников, Асеев, Ишмуратов, 1980].

Метеорологические данные за 2009–2011 гг. добывались прямо на двух ключевых участках с помощью специальных энергонезависимых датчиков-самописцев – термохронов. Эти устройства сегодня считаются наиболее эффективными температурными мониторами. Прибор представляет собой защищенный терморегистратор весом 3 г и диаметром 17 мм, упакованный в корпус, изготовленный из химически и биологически инертной медицинской нержавеющей стали. Он измеряет температуру и сохраняет в собственной памяти снабженные временными отметками результаты последних измерений за период до 1 года, при этом термохрон способен функционировать полностью автономно, без каких-либо дополнительных источников энергии и подводных проводов. С помощью специализированных про-

граммных пакетов задаются желаемые значения установочных параметров для организации процесса регистрации температуры или считывания накопленной в его памяти информации. Далее полученные результаты могут быть переведены в удобный для отображения вид – таблицы, графики или гистограммы, а затем сохранены в виде файла для дальнейшего анализа, выполняемого уже с помощью иных специальных программных средств [Иванов, 2015].

Измерения массы (толщины) ледников производятся радиометрическим геофизическим радаром «ОКО-2» фирмы «Логис» с пределом слоя измерений 60 м. Использование данного устройства – это уникальная возможность проводить неразрушающий мониторинг состояния ледяного тела с высокой детальностью. Методические аспекты разрабатывались специально для каждого исследуемого ледяного объекта на основе технологии стандартных геофизических изысканий.

Дополнительно на каждом моренном комплексе производятся измерения остаточной прочности методом неразрушающего контроля (Schmidt Hammer test). Согласно ряду публикаций [Shakesby, Matthews, Owen, 2006], остаточная прочность каменного материала морены косвенно указывает на возраст образования морены. Методической основой послужили труды А. А. Галанина и других по датированию ледниковых комплексов хр. Черского с использованием склерометра [Galanin, Pakhomov, 2010]. В наших исследованиях используется прибор немецкого производства ADA Schmidt Hammer 225 с энергией удара 1,8 Дж. Он выполняет измерения в диапазоне 10–60 МПа по ГОСТ 22690. Измерения проводились на наиболее типичных гранитоидных останцах ледниковых комплексов диаметром 1,5–2 м на стороне, обращенной к леднику. На каждом останце осуществляется серия из 8 измерений, и выводится среднее значение.

Для картографирования нивально-гляциальных объектов используются материалы, получаемые дистанционными методами. Реальные границы снежно-ледовых образований с необходимой точностью могут быть определены только непосредственными исследованиями на объектах при обязательном учетывании параметров окружающих природных систем: моренных комплексов, ледниковых озер, коренных пород и т. д.

Методика составления картосхем включает следующие этапы.

1. Сбор всех доступных картографических данных: топографические карты, тематические карты разных масштабов и времени составления, каталоги ледников, космические снимки разного разрешения.

2. Обобщение материалов, анализ тематического содержания, выделение ошибочных данных и расхождений между разными источниками информации [Planimetric and volumetric ... , 2008].

3. Составление моделей современного состояния объектов исследования по материалам дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Применение ГИС-технологий позволяет свести к единой картографической основе имеющиеся материалы, провести необходимые картографические построения для сравнения и реконструкции границ оледенения и сопряженных геосистем.

4. Исследования на местности обмером портативными навигационными устройствами и лазерным сканированием. На ледниках ключевых участков производится обход периметра всего ледника с портативным навигатором. Дополнительно проводится описание точек выделяющихся частей ледника, которые возможно будет дешифрировать на космических снимках для привязки. Кроме этого, отдельно осуществляется фиксация фирновой линии, линии натечного льда, тальвегов, флювиогляциала, а также ставятся точки на вершинах, окружающих ледник, и на крайних точках морен.

Лазерная сканирующая система ILRIS Optech представляет собой наиболее современный инструмент для геодезической съемки недоступных поверхностей. Она позволяет получить тысячи X , Y , Z точек в секунду, из которых затем могут быть построены точные 3D-модели. Для съемки достаточно одной точки, с которой просматривается вся поверхность ледника. Максимальное расстояние до объекта для корректной работы дальномера – 1,8 км [3-D surface properties ... , 2016].

5. Сравнение современного состояния ледников, рассчитанного с помощью анализа и обобщения дистанционных материалов, с данными лазерного сканирования и треками из навигаторов.

Главные показатели при исследованиях на местности: длина, площадь, периметр ледников, высшие и низшие точки ледника, реперы для сверки прошлых съемок, высота фирновой линии, точки на леднике, которые возможно рекогносцировать на снимках. Также определяются количественные характеристики морен: высоты, площади, объемы, удаленность гребней морены от языка ледника, насыщенность отложений льдом, характер залегания обломочных отложений, крупность обломков, степень покрытия растительностью и проч.

Результаты и их обсуждение

Метеорологические измерения

В таблице 1 приведены характеристики географического положения мест закладки термохронов.

Таблица 1

Характеристика мест закладки термохронов

Горный хребет	Код площадки	Абс. высота, м	Растительность	Экспозиция
Байкальский	Б1	1290	Низкотравье	Южная
	Б2	1126	Разреженные кустарники	Южная
	Б3	1127	Кедровый стланик, мхи	Северная
Мунку-Сардык	М1	2877	Альпийский луг	Северная
	М2	2684	Морена, лишайники	Северная

В районе вершины Мунку-Сардык приборы были установлены совместной экспедицией Института географии СО РАН и Педагогического института ИГУ 27–29 июля 2009 г. и с этого времени ежегодно заменяются, снимаются данные. Один датчик был заложен на склоне г. Мунку-Сардык на ригеле, окатанном ледником и засыпанном мореной на высоте

2877 м над ур. м. Второй датчик устанавливался вблизи оз. Эхой на высоте 2684 м над ур. м. Состав почвы в месте закладки представлен преобладающим содержанием грубообломочного материала диаметром 7–10 см. Извлечены приборы 21 августа 2010 г.

На Байкальском хребте термохроны были размещены экспедицией Института географии СО РАН 25 августа 2009 г. на расстоянии 5 и 8 км от г. Черского. Термохроны закладывались по линии профиля троговой долины с преобладанием альпийского ландшафта на высотах 1290, 1126, 1127 м, а также на границе леса на 1026 м над ур. м. Датчики окружал обломочный материал диаметром в среднем 5–7 см. Извлечены датчики 15 сентября 2010 г.

Статистические характеристики температуры почвы приведены в табл. 2.

Таблица 2

Статистические характеристики температуры почвы в местах закладки термохронов

Термохрон	Ср. год. Т °С	Max t °С / дата	Min t °С / дата	Годовая амплитуда, °С	Период устойчивой отрицательной t °С
Б1	-6,5	15,0 /(25.07.2010)	-26,5 /(01.02.2010)	41,5	18.10.2009– 26.05.2010
Б2	-3,3	21,5 /(24.07.2010)	-21,0 / (04.02.2010)	42,5	24.10.2009– 03.05.2010
Б3	-1,8	20,0 (22.07.2010)	-15,5 /(02.02.2010)	35,5	26.10.2009– 10.05.2010
М1	-10,3	10,0 (11.07.2010)	-25,5 / (13–14.02.2010)	35,9	12.10.2009– 14.06.2010
М2	-9,6	7,5 (09.07.2010)	-22,0 / (11–16.02.2010)	29,5	29.10.2009– 12.06.2010

Период устойчивой отрицательной температуры в массиве Мунку-Сардык продолжался от 227 (М2) до 246 (М1) дней. На Байкальском хребте экспозиция склона заметно не повлияла на продолжительность периодов устойчивой отрицательной температуры: 192 (Б2) и 197 (Б3) дней, хотя они на 1,5 °С различаются по среднегодовой температуре. В месте закладки термохрона Б1, на 164 м выше места закладки термохрона Б2 по профилю того же склона, период устойчивой отрицательной температуры воздуха составил 222 дня, и среднегодовая температура в этом месте была вдвое ниже. Это близко к температурному режиму массива Мунку-Сардык, хотя высота над уровнем моря здесь вдвое меньше [Иванов, 2015].

Натурные наблюдения и описания

В таблице 3 представлены основные показатели ледников, выбранных базовыми на исследуемых участках. Их расположение в таблице отражает трансект меридионального направления с севера (хр. Кодар) на юг (массив Мунку-Сардык).

Измеряя нижние границы ледников и сравнивая результаты с теоретической границей хионосферы, можно выявить следующие различия параметров (табл. 4). Нижняя граница распространения многолетних снежников на данных территориях проходит в основном на тех же высотах, что и нижние края ледников.

Таблица 3

Основные показатели ледников

Горный массив, ледник	Длина, км		Площадь, км ²		Верхн. точка, м		Конец языка, м	
	Л	А	Л	А	Л	А	Л	А
Кодар, Азаровой	1,7	1,4	0,7	0,4	2493	2475	1950	2050
Байкальский, Черского	0,9	0,7	0,4	0,3	2050	2000	1890	1910
Вост. Саян, № 18	1,4	1,3	1,3	1,1	2700	2650	2300	2380
Мунку-Сардык, Перетолчина	0,6	0,5	0,4	0,3	3460	3460	2700	2947

Примечание. Л – литературные данные: [Inventory of nival-glacial ... , 2015]; А – данные полевых исследований с участием автора.

Таблица 4

Снеговая линия (нижний уровень хионосферы) ключевых участков

Территория	Ледник	Широта, ° с. ш.	У-1963, м	У-1981, м	Сн. л., м
Кодар	Азаровой	56,9	3300	3100	1900
Байкальский хр.	Черского	55,0	3400	3200	1750
Восточный Саян	№ 18	52,5	3100	3000	2600
Восточный Саян	Перетолчина	51,4	3600	3500	2950

Примечание. У-1963 – теоретическая нижняя граница хионосферы [Тушинский, Малиновская, 1963]; У-1981 – теоретическая нижняя граница хионосферы с региональным коэффициентом [Выркин, Плюснин, 1981]; Сн. л. – снеговая линия, измеренная в ходе полевых исследований автора.

Измерения моренных комплексов

Как уже говорилось выше, измерения моренных комплексов (табл. 5) также могут быть достаточно информативными для составления полной картины ландшафта. Отличие между современной мореной и заморененным участком языка достаточно проблематично уловить с помощью дистанционных методов, так же как и четко отделить морены от конусов выноса, ригелей и подобных образований. Непосредственно на месте это можно сделать гораздо точнее. У некоторых ледников достаточно большую часть занимает погребенный лед, который тоже необходимо учитывать. Именно забронированный лед часто является той самой погрешностью, которую дистанционные методы не «замечают», а при измерениях непосредственно на объекте они легко рекогносцируются [Stahr, Langenscheidt, 2015].

Таблица 5

Измерения моренных комплексов

Название	Ледник		Современная морена (LIA)			
	L, км	S, км ²	L, м	S, км ²	H, м	d, м
Азаровой	1,45	0,70	200	0,12	80	0,3
Черского	0,93	0,41	70	0,11	40	0,2
Перетолчина	0,86	0,33	100	0,05	30	0,1
№ 18	1,40	2,10	-	-	-	-

Примечание. L – длина; S – площадь; H – превышение верхнего уровня морены над нижним; d – средний диаметр материала – составных частей морены.

Отсутствие современной морены у ледника № 18 пика Топографов связано с местоположением ледника, его язык заканчивается на обрыве, вследствие чего весь обломочный материал осыпается вниз по склону, в речную долину.

Измерения лазерной сканирующей системой ILRIS – OptechHD

Визуально результат сканирования выглядит следующим образом (рис. 1). Облака точек при сравнении разновременных сканирований показывают изменения поверхности с большой четкостью. Разрешение прибора является избыточным для сегодняшнего уровня гляциологических исследований района. Прибор целесообразнее применять для сканирования каменно-осыпных поверхностей без снежно-ледовых включений, так как сканер идентифицирует отражающие поверхности как воздушные пробелы.

Измерения толщины ледников радиометрическим георадаром «ОКО-2»

Известно, что толщина любого ледника неоднородна в разных его местах. Исходя из этого, измерительные профили закладываются следующим образом, показанным на рис. 2. Средняя толщина ледника Ячевского по результатам первичных измерений в августе 2014 г., по-видимому, превышает предел слоя измерений 60 м. Средняя толщина языка ледника Северный Перетолчина на г. Мунку-Сардык, измеренная в июне 2014 г., составляет в среднем 25,5 м. Прежние сведения, основанные на сравнении разновременных фотоматериалов, указывали на толщину этого ледника по меньшей мере 65 м. Применение данного устройства ценно именно на ледниках малого типа, так как их толщина сравнима с пределом слоя измерений (60 м).

Измерения ледника Северный Перетолчина выполняются с некоторой периодичностью (в начале и на пике абляции 2014, 2016, 2017 гг.) с использованием георадара «ОКО-2» с антенным блоком АБДЛ «Тритон» частотой излучения 50 и 100 МГц. Это позволяет получать сравнительные результаты радиолокационного профилирования. Определены толщина льда по профилям и объемы льда по площади сечений и расстояний между профилями. Вычислен объем льда в теле ледника Перетолчина, равный $0,007 \text{ км}^3 \pm 0,0019 \text{ км}^3$. Аналитическим методом выявлен также объем льда по зависимости от типа ледника и его площади. Установлено, что корреляционная связь между объемом и площадью ледников выражена степенной функцией $V = kSp$. Рассчитанный с учетом разных коэффициентов средний объем льда составил $0,0061 \text{ км}^3$. Зафиксирован объем льда по модели GlabTop, учитывающей форму поперечного сечения тела ледника: средний объем по двум сечениям (параболическому и эллипсов) – $0,0073 \text{ км}^3$. Установлено, что за 110 лет с начала исследования морфологии ледника Перетолчина он уменьшился в длину и по площади в два раза, а его объем сократился в 3,7 раза, нижняя граница открытой части ледника поднялась за это время на 184 м [Changes in thickness ... , 2018].

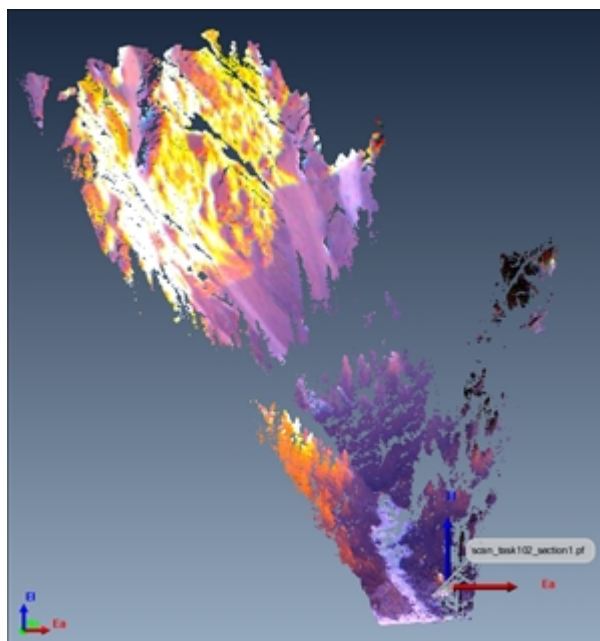


Рис. 1. Цифровая картина ледово-каменного тела на правой стороне р. Белый Иркут по результатам лазерного сканирования системой ILRIS – Ortech HD



Рис. 2. Схема профилей измерения ледника Ячевского на пике Топографов (Восточный Саян) георадаром «ОКО-2»

Измерение остаточной прочности моренного материала ледников

Результаты измерений остаточной прочности склерометром некоторых участков представлены в табл. 6. По проведенным сериям измерений четких закономерностей не выведено. Преждевременно говорить о зависимости величины средней остаточной прочности комплекса и его возраста до накопления достаточного массива статистической информации по нивально-гляциальным объектам этой территории.

Таблица 6

Результаты измерений остаточной прочности морен склерометром

Место измерения	Координаты	Абс. высота, м	Расстояние от области питания, м	Средняя прочность корки выветривания
Мунку-Сардык, русло р. Белый Иркут	N 51.45475 E 100.39265	1700	3500	38
Мунку-Сардык, морена ледника Сев. Перетолчина	N 51.44202 E 100.36083	2600	400	44
Мунку-Сардык, морена ледника Сев. Перетолчина	N 51.43445 E 100.36012	2900	200	47
Пик Топографов, морена склона ледника № 18	N 52.51550 E 98.82975	2228	1700	61
Пик Топографов, морена ледника № 18	N 52.50153 E 98.81875	2566	150	42
Пик Топографов, морена ледника Ячевского	N 52.48477 E 98.86296	2028	1200	53

Заключение

Состояние горных и нивально-гляциальных геосистем юга Восточной Сибири исследуется сегодня непосредственно полевыми наблюдениями с использованием современных средств и технологий, таких как ГИС-анализ и картографирование; дистанционного зондирования спутниковыми системами сверхвысокого разрешения; с применением современных навигационных и геодезических приборов, а также автоматических приборов регистрации метеорологических параметров.

Значительные перспективы в проведении исследований на труднодоступных территориях появились благодаря следующим моментам.

1. Функционирование космических систем сверхвысокого разрешения с возможностью регистрации географических объектов в диапазоне электромагнитного излучения от видимого до радарного дает возможность с достаточно большой точностью фиксировать природные объекты и их изменения. Спектр диапазонов позволяет составить полную картину функционирования геосистем и всех основных их составляющих [Global Land Ice ... , 2014].

2. ГИС-технологии анализа дистанционных данных и карт значительно упрощают и ускоряют сбор и анализ материалов и дают возможность получать промежуточные и предварительные результаты, более четко намечать и следовать основным целям исследования, а также оперативно оформлять результаты в виде соответствующих карт или инфраструктур пространственных данных.

3. Большое значение имеет доступность портативных высокоточных навигационных приборов, которые способствуют существенной мобилизации и автоматизации полевых исследований и также дают возможность видеть промежуточные и предварительные результаты, для того чтобы не делать лишних измерений и сверок данных.

4. Появление порталов интернет-ГИС, обмен современной пространственной информацией помогает как первичному статистическому сбору и анализу данных, так и последующей апробации и сравнению полученных и

обработанных сведений между разными исследователями и учреждениями, выполняющими сходные задачи либо изучающими одни и те же природные объекты, а также дает возможность дополнять общую картину природного комплекса разными данными. Например, гляциологические данные могут дополниться геологическими, ландшафтными – метеорологическими и т. п.

Согласно учению о геосистемах В. Б. Сочавы и научным направлениям, основанным на нем [Коновалова, 2012], модели взаимодействия компонентов геосистемы показывают взаимоотношения между этими компонентами, определяют роль критических компонентов, которые изменяют эти геосистемы. Они дают представление о динамике системы, но главное, демонстрируют связь между основными элементами и указывают на роль компонентов в функционировании геосистем. Структурно-динамические модели отражают предположительный порядок смены одного переменного состояния другим при разрушении или восстановлении коренной структуры, отмечая ложно-, условно коренное, и период, необходимый для перехода из одного динамического состояния в другое.

Обозначенные методы применяются в исследованиях по утвержденному плану научно-исследовательских работ лаборатории геоморфологии Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН на 2017–2020 гг. по проекту «Экзогенное рельефообразование на юге Сибири в позднем плейстоцене и голоцене», блок 1, «Современное состояние и эволюция нивально-гляциальных комплексов гор юга Восточной Сибири». Коды ГРНТИ 38.47.15, 37.29.35.

Список литературы

- Выркин В. Б., Плюснин В. М.* Гляцио- и морфоклиматические показатели Байкальской горной области // География и природ. ресурсы. 1981. № 1. С. 113–118.
- Иванов Е. Н.* Динамика снежно-ледовых геосистем гор юга Восточной Сибири : монография. Иркутск : Изд-во ИГ СО РАН, 2015. 128 с.
- Коновалова Т. И.* Пространственно-временная самоорганизация геосистем. Новосибирск : ГЕО, 2012. 152 с.
- Напрасников А. Т., Асеев В. В., Ишмуратов Б. М.* Оценка гидроклиматических ресурсов зоны Байкало-Амурской магистральной. Иркутск : ИГСДВ АН СССР, 1980. 325 с.
- Тушинский Г. К., Малиновская Н. М.* Положение уровня 365 над территорией СССР и связь этого уровня с оледенением // Инф. сб. о работах по ММГ. М. : Изд-во МГУ, 1962. № 9. С. 19–23.
- Шумский П. А., Красс М. С.* Динамика и тепловой режим ледников. М. : Наука, 1983. 210 с.
- Planimetric and volumetric glacier changes in the Khumbu Himal, Nepal, since 1962 using Corona, Landsat TM and Aster data / T. Bolch, M. Buchroithner, T. Pieczonka, A. Kunert // Journal of glaciology, IGS. 2008. Vol. 54, no. 187. P. 592–600.
- Galanin A. A., Pakhomov A. J.* Dating of the Mandychansky late glacial complex in the Chersky ridge by use of the sclerometer «ONICS 2.6.2» // Geomorphology RAS. 2010. Vol. 1. P. 16–25. DOI:10.15356/0435-4281-2010-1-16-25.
- Global Land Ice Measurements from Space / J. S. Kargel, G. J. Leonard, M. P. Bishop, A. Kääb, B. H. Raup. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2014. 876 p. DOI:10.1007/978-3-540-79818-7.
- Inventory of nival-glacial geosystems in Lake Baikal area (East Siberia, Russia) / E. N. Ivanov, V. M. Plyusnin, A. D. Kitov, S. N. Kovalenko, I. V. Balyazin, A. P. Sofronov // Environmental Earth Sciences. 2015. Vol. 74, Is. 3. P. 1957–1968. DOI 10.1007/s12665-015-4446-z.

Changes in thickness of Peretolchin glacier (Eastern Sayan) / A. D. Kitov, A. S. Gladkov, O. V. Lunina, V. M. Plyusnin, E. N. Ivanov, E. V. Serebryakov, A. M. Afon'kin // Proceedings of the International conference "InterCarto/InterGIS", Seoul (South Korea). 2017. Vol. 1(23). P. 405–417. DOI:10.24057/2414-9179-2017-1-23-405-417.

3-D surface properties of glacier penitentes over an ablation season, measured using a Microsoft Xbox Kinect / L. Nicholson, M. Petlicki, B. Partan, Sh. MacDonell // *The Cryosphere*. 2016. Vol. 10. P. 1897–1913. DOI:10.5194/tc-10-1897-2016.

Shakesby R. A., Matthews J. A., Owen G. The Schmidt hammer as a relative-age dating tool and its potential for calibrated-age dating in Holocene glaciated environments // *Quaternary Science Reviews*. 2006. Vol. 25, Is. 21–22. P. 2846–2867.

Stahr A., Langenscheidt E. Landforms of High Mountains. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2015. 158 p. DOI:10.1007/978-3-642-53715-8.

Accelerated loss of alpine glaciers in the Kodar Mountains, south-eastern Siberia / C. R. Stokes, M. Shahgedanova, I. S. Evans, V. Popovnin // *Global and Planetary Change*. 2013. Vol. 101. P. 82–96.

Modern Methods of in Situ Studying for Mountain Glaciers on Eastern Siberia's South

E. N. Ivanov

V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk

Abstract. A special method of collecting and processing of spatial and climatic data in remote areas of southern East Siberia, with modern glaciation was developed. It is based on field research, geodetic survey, laser scanning, residual strength measurement, analysis of satellite images, the use of GIS technology, nonvolatile temperature sensors (thermochrons), and synthesis of materials in the form of a database. In this paper the attention fixed on in situ methods of study of mountain glaciers as main source of taken of facted materials. Such methods are next.

- Year-round meteorological observation near studying objects by thermo registers
- Geodetic fixes of reference points on object's surface by portative navigation devices
- Georadar survey of ice thickness from glacier's surface
- The measurement of residual strength of moraine deposits by sclerometer
- Laser scanning of slopes for the detection of its geomorphologic features

The using thus methods in add to remote sensing observation of earth surface allow making a complex study of modern glaciations of Near-Baikal mountain ridges: the Kodar ridge, Barguzinskii and Baikalskii ridges, East Sayan. It allow to see the grade of participating of nival-glacial formations in geomorphologic processes also.

The GIS-project it's, probably, the best way to joint of difference data. In this project we can to concentrate data on the one cartographic basis with appropriate database for next automatic analyze that information.

Keywords: mountain glaciers, climate changes, research methods, in-situ observations, georadar survey.

For citation: Ivanov E.N. Modern Methods of in Situ Studying for Mountain Glaciers on Eastern Siberia's South. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2018, vol. 25, pp. 54–65. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.25.54> (in Russian)

References

Vyrkin V.B., Plyusnin V.M. *Glyatsio- i morfoklimaticheskie pokazateli Baikalskoi gornoj oblasti* [Glacio- and Morphoclimatic Indicators of Baikal Mountain Area]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Natural Resources], 1981, no. 1, pp. 113–118. (in Russian)

Ivanov E.N. *Dinamika snezhno-ledovykh geosistem gor yuga Vostochnoi Sibiri: monografiya* [The Dynamics of snow-ice geosystems of Eastern Siberia's South mountains: the monograph]. Irkutsk, IG SO RAN Publ., 2015, 128 p. (in Russian)

Konovalova T.I. *Prostranstvenno-vremennaya samoorganizatsiya geosistem* [Space-Time Self-Organization of Geosystems]. Novosibirsk, GEO Publ., 2012. 152 p. (in Russian)

Naprasnikov A.T., Aseev V.V., Ishmuratov B.M. *Otsenka gidro-klimaticheskikh resursov zony Baikalo-Amurskoi magistrali* [The Valuate of Hydro-Climatic Resources of Baikal-Amur Magistral's zone]. Irkutsk, IGSDV AN USSR Publ., 1980. 325 p. (In Russian)

Tushinskii G.K., Malinovskaya N.M. *Polozhenie urovnya 365 nad territoriei USSR i svyaz' etogo urovnya s oledeneniem* [The Position of "Level 365" on the USSR territory and its connect with glaciations]. *Informatsionniy sbornik o rabotakh po MMG* [Information digest about IMY works], 1962, no. 9, pp. 19-23. (in Russian)

Shumskii P.A., Krass M.S. *Dinamika i teplovoi rezhim lednikov* [The Dynamics and Thermal Conditions of Glaciers]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 210 p. (In Russian)

Bolch T., Buchroithner M., Pieczonka T., Kunert A. Planimetric and volumetric glacier changes in the Khumbu Himal, Nepal, since 1962 using Corona, Landsat TM and Aster data. *Journal of glaciology, IGS*, 2008, vol. 54, no. 187, pp. 592-600.

Galanin A.A., Pakhomov A.J. Dating of the Mandychansky late glacial complex in the Chersky ridge by use of the sclerometer «ONICS 2.6.2» *Geomorphology RAS*, 2010, vol. 1, pp. 16-25. DOI:10.15356/0435-4281-2010-1-16-25.

Global Land Ice Measurements from Space. Kargel, J.S., Leonard, G.J., Bishop, M.P., Kääh, A., Raup, B.H. Springer-Verlag Berlin Heidelberg., 2014. 876 p. DOI:10.1007/978-3-540-79818-7.

Ivanov E.N., Plyusnin V.M., Kitov A.D., Kovalenko S.N., Balyazin I.V., Sofronov A.P. Inventory of nival-glacial geosystems in Lake Baikal area (East Siberia, Russia). *Environmental Earth Sciences*, 2015, vol. 74, is. 3, pp. 1957-1968. DOI 10.1007/s12665-015-4446-z.

Kitov A.D., Gladkov A.S., Lunina O.V., Plyusnin V.M., Ivanov E.N., Serebryakov E.V., Afon'kin A.M. Changes in thickness of Peretolchin glacier (Eastern Sayan). *Proceedings of the International conference "InterCarto/InterGIS"*. Seoul (South Korea), 2017, vol. 1(23), pp. 405-417. DOI:10.24057/2414-9179-2017-1-23-405-417.

Nicholson L., Petlicki M., Partan B., MacDonell Sh. 3-D surface properties of glacier penitentes over an ablation season, measured using a Microsoft Xbox Kinect. *The Cryosphere*, 2016, vol. 10, pp. 1897-1913. DOI:10.5194/tc-10-1897-2016.

Shakesby R.A., Matthews J.A., Owen G. The Schmidt hammer as a relative-age dating tool and its potential for calibrated-age dating in Holocene glaciated environments. *Quaternary Science Reviews*, 2006, vol. 25, is. 21-22, pp. 2846-2867.

Stahr A., Langenscheidt E. Landforms of High Mountains. Springer-Verlag Berlin Heidelberg., 2015. 158 p. DOI:10.1007/978-3-642-53715-8.

Stokes C.R., Shahgedanova M., Evans I.S., Popovnin V. Accelerated loss of alpine glaciers in the Kodar Mountains, south-eastern Siberia. *Global and Planetary Change*, 2013, vol. 101, pp. 82-96.

Иванов Егор Николаевич

кандидат географических наук, научный сотрудник, лаборатория геоморфологии Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1
тел.: +8(3952) 42-64-35
e-mail: egoryo@bk.ru

Ivanov Egor Nikolayevich

Candidate of Science (Geography), Research Scientist, Laboratory of Geomorphology V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS
1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: +8(3952) 42-64-35
e-mail: egoryo@bk.ru

Дата поступления: 23.04.2018

Received: April, 23, 2018