

УДК (551.321.7:551.342:551.345:351.746.1)(510)



Геворкян С.Г.

Мерзотоведение Китая в начале XXI века (обзор)

Геворкян Сергей Георгиевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, ОАО «Фундамент-проект» (Москва)

E-mail: sergey-g-gevorgyan@j-spacetime.com; Sergev99@yandex.ru

В настоящей статье представлен краткий обзор работ, представленных китайскими специалистами на X Международной конференции по мерзотоведению (Салехард, 25—29 июня 2012 г.) и XII Международном конгрессе Международной ассоциации по инженерной геологии и проблемам охраны геологической среды (Турин, 15—19 сентября 2014 г.). В обзор вошли исследования по пяти направлениям: исследования распространения многолетней мерзлоты в Китае; криогенные природные процессы в криолитозоне Китая; механика мёрзлых грунтов; строительство железных и шоссейных дорог в криолитозоне; применение новых приборов и методов в изучении многолетнемёрзлых пород.

Ключевые слова: мёрзлые грунты, одноосное сжатие, силы смерзания, коэффициенты перехода, строительство в криолитозоне.

Введение

Согласно имеющимся данным, в конце XX в. область распространения многолетнемёрзлых грунтов в Китае (т.е. область «вечной мерзлоты») составляла около 22,4% территории страны, т.е. примерно 2,15 млн. кв. км [*Qiu Guoqing, Cheng Guodong 1995; Ma Wie et al. 2012*]. Китай занимает третье место в мире (после России и Канады) по площади криолитозоны¹ [*Jin et al. 2000*].

¹ Криолитозона — верхний слой земной коры, характеризующийся отрицательными температурами горных пород и наличием (или возможностью существования) подземных льдов. В ее состав входят многолетнемерзлые горные породы, подземные льды и непромерзающие горизонты сильно минерализованных подземных вод.¹

По географическому положению область распространения многолетнемёрзлых грунтов на территории Китая можно разделить на три подобласти, соответственно включающие в себя высокоширотную многолетнюю мерзлоту Северо-восточного Китая, альпийскую многолетнюю мерзлоту Северо-западного Китая и многолетнюю мерзлоту высоких плато Тибетского нагорья [*Zhou Youwu et al 2000, 450; Zhao Lin et al 2004*] (**рис. 1**).

Тибетское нагорье (которое в Китае принято называть Цинхай-Тибетским) — это самое крупное и самое высокое нагорье Земли: площадь его — около 2 млн. кв. км, средняя высота — 4500 м (**рис. 2**). Днища даже самых глубоко врезаных долин Южного и Восточного Тибета имеют абсолютную высоту 3000—3500 м, а в Северном Тибете межгорные депрессии лежат обычно на высоте 4500—5000 м. Тибетское нагорье представляет собой высокогорные засушливые степи, перемежающиеся с горными хребтами и солоноватыми озёрами. На юге и востоке нагорья встречаются луга. Большую часть Тибетского нагорья занимают многолетнемёрзлые и сезонномёрзлые грунты; это крупнейшая область распространения высотной мерзлоты в мире [*Jin et al. 2006*]. В этом регионе проявляется как высотная мерзлотная поясность, так и широтная её зональность [*Тун Бойлян, Ли Шуде 1986*].

Многолетняя мерзлота Северо-восточного Китая, расположенная на юго-восточной окраине криолитозоны Евразии, является термически неустойчивой и весьма чувствительной к внешним воздействиям [*Wei Zhi et al. 2011*].

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

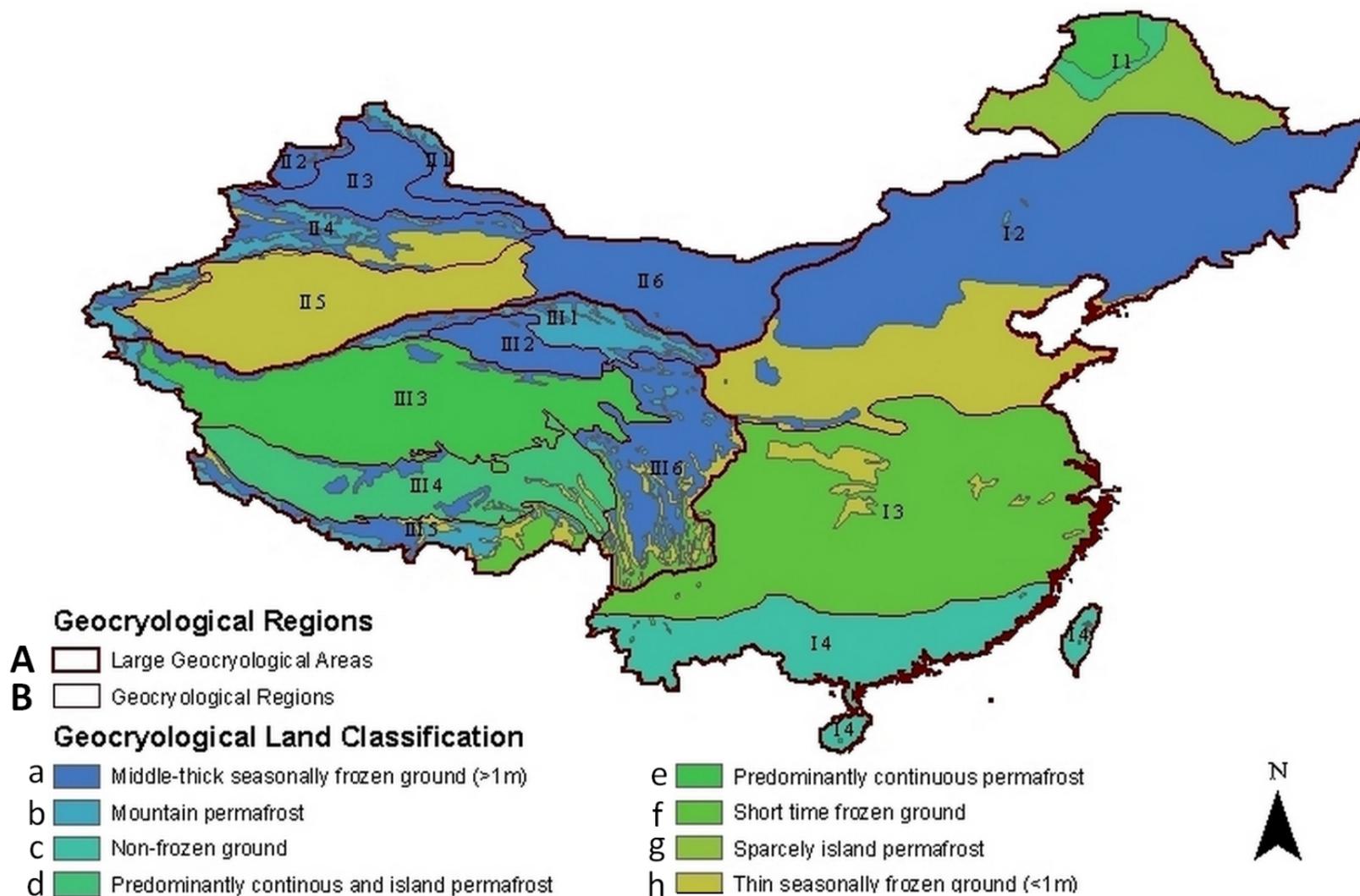


Рис. 1. Геокриологическая карта Китайской Народной Республики

([Zhou Youwu et al. 2000] с сайта http://staging.nsidc.org/data/docs/fgdc/ggd603_pf_maps_china/index.html).

Условные обозначения: **A** — границы больших геокриологических зон; **I** — геокриологические зоны Восточного Китая, **II** — геокриологические зоны Северо-Западного Китая; **III** — геокриологические районы Юго-Западного Китая (Цинхай-Тибетское плато); **B** — границы геокриологических областей; **a** — сезонномерзлые грунты средней толщины (> 1 м); **b** — многолетнемерзлые горные породы; **c** — незамерзающие грунты; **d** — преимущественно сплошное и островное распространение многолетнемерзлые породы; **e** — преимущественно сплошное распространение многолетнемерзлых пород; **f** — кратковременно промерзающие грунты; **g** — редкоостровное распространение многолетнемерзлых пород; **h** — тонкие сезонномерзлые грунты (< 1 м)



Рис. 2. Карта Тибетского нагорья.

С сайта http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tibet_Karte_Topografisch.png

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

На западе Китая многолетняя мерзлота занимает большие площади тамошнего высокогорья и существенно влияет на местные гидрологические процессы, экосистемы и климат [Zhao Lin et al. 2012].

Согласно новым, уточнённым данным [Ran Youhua et al. 2012], общая площадь, занимаемая в Китае многолетнемерзлыми грунтами, составляет около 1,59 млн. кв. км (ледники и озёра исключены); площадь, занимаемая сезонномерзлыми²

² Сезонномерзлый грунт — грунт, который находится в мерзлом состоянии только в течение холодного сезона.

грунтами, составляет примерно 5,36 млн. кв. км. Из 1,35 млн. кв. км общей площади высотной (в горах и на Тибетском нагорье) многолетней мерзлоты высокогорная многолетняя мерзлота занимает 0,30 млн. кв. км, а многолетняя мерзлота Тибетского нагорья — около 1,05 млн. кв. км. Область широтной многолетней мерзлоты, расположенной в северной части Северо-Восточного Китая, составляет 0,24 млн. кв. км.

Южная граница распространения сезонномерзлых грунтов в Китае определяется положением нулевой изотермы в середине января, которая приблизительно совпадает с линией, идущей от гор Циньлин³ до реки Хуайхэ на востоке и до

³ Циньлин — горный хребет, восточное продолжение хребта Куньлунь. Тянется с запада на восток на 1000 км.

юго-восточной границы Тибетского нагорья на западе. Сезонно мерзлые грунты встречаются на значительной части территории Северного Китая и Тибетского нагорья и занимают около 55% площади суши страны. Что же касается временно мерзлых грунтов, то они занимают менее 20% площади страны. Южная граница их распространения сезонной мерзлоты проходит главным образом вдоль 25° с.ш., местами отклоняясь от неё в северном и южном направлениях, захватывая территорию субтропической климатической зоны.

Систематическое изучение многолетнемерзлых грунтов началось в Китае достаточно поздно, — с 1950-х гг. [Jin et al. 2000]. Однако за сравнительно короткий срок китайские мерзлотоведы сумели добиться впечатляющих успехов. Одним из веских доказательств выдающихся успехов китайского мерзлотоведения является успешное завершение и ввод в эксплуатацию (1 июля 2006 г.) Цинхай-Тибетской железной дороги, соединяющей город Синин — столицу провинции Цинхай, и административный центр Тибета — Лхасу [Геворкян 2013] (рис. 3). Это самая высокогорная и самая длинная на нагорье железная дорога, с самым протяженным в мире отрезком пути (около 630 км), пересекающим зону многолетней мерзлоты [Ян Сюеци 2006; Кондратьев 2011]. Железнодорожная магистраль проходит в основном параллельно Цинхай-Тибетской автотрассе [Цинхай-Тибетская железная дорога 2005]⁴.

⁴ По сравнению с линиями местного значения железнодорожные магистрали сооружаются с более пологими уклонами и кривыми, имеют большую ширину земляного полотна, более мощное верхнее строение пути и другие технические улучшения, рассчитаны на более высокую пропускную способность.

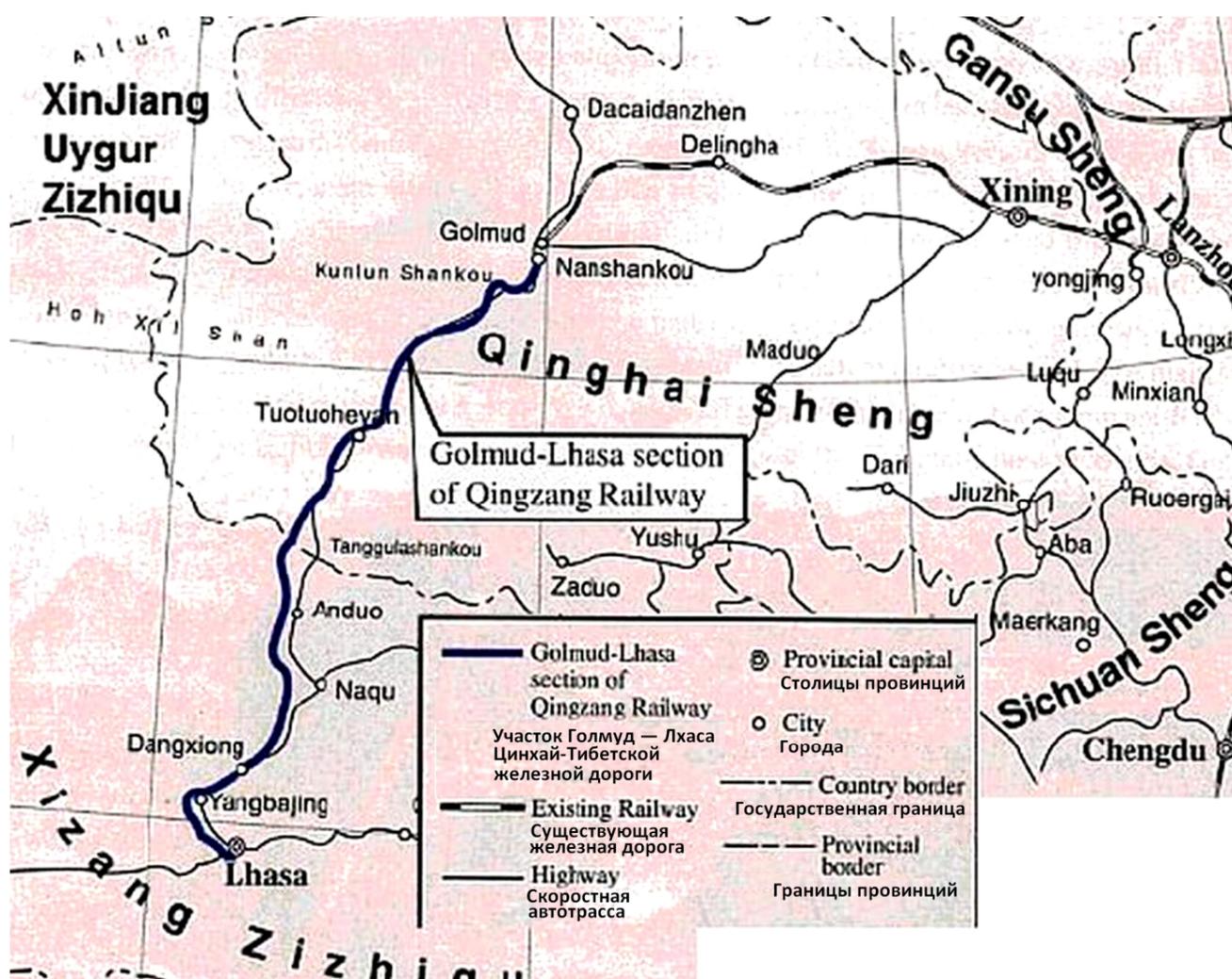


Рис. 3. Трасса Цинхай-Тибетской железной дороги (Синин – Голмуд – Лхаса).
С сайта <http://uaisp.ru/index.php?newsid=20544>

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

Первых китайских мерзлотоведов обучали в институтах и университетах Советского Союза. Поэтому с полным основанием можно утверждать, что китайская школа мерзлотоведения выросла из советской, русской мерзлотоведческой школы.

Проявлением признания в научном мире заслуженного авторитета китайских мерзлотоведов стало проведение в Китае таких представительных научных форумов, как VI Международная конференция по мерзлотоведению (Пекин, 5—9 июля 1993 г.), Азиатская конференция по мерзлотоведению (г. Ланьчжоу, 7—9 августа 2006 г.), а также регулярное, начиная с 1993 г., проведение поочередно в России и в Китае Международных симпозиумов по проблемам инженерного мерзлотоведения. Из этих симпозиумов в Китае прошли Второй — в 1996 г. (Харбин), Четвертый — в 2000 г. (Ланьчжоу), Шестой — в 2004 г. (Ланьчжоу), Восьмой — в 2009 г. (Сиань), Десятый — в 2014 г. (Харбин). Изначально эти симпозиумы проводились раз в два года, но с 2009 г. их проводят раз в три года [Алексеева 2015].

В настоящее время мерзлотоведение в Китае развивается очень активно. Ведущим учреждением Китая по изучению многолетнемёрзлых пород является Институт инженерных и экологических исследований холодных и аридных регионов Академии наук Китайской Народной Республики (Ланьчжоу, провинция Ганьсу). Однако помимо данного института мерзлотные исследования ведутся ещё в целом ряде организаций, в числе которых — Пекинский транспортный университет, Пекинский университет лесного хозяйства, Факультет экологических наук Пекинского Университета, Китайский сельскохозяйственный университет (Пекин), Институт исследований Тибетского плато Академии наук КНР (Пекин), Строительный факультет Гиринского университета (г. Чанчунь, провинция Гирин), Лаборатория экологической системы Западного Китая Университета Ланьчжоу (Ланьчжоу, провинция Ганьсу), Институт подземных вод холодных регионов Хэйлунцзянского университета (Харбин), Хэйлунцзянская Академия строительных изысканий в холодных регионах (Харбин), Институт земляного полотна и инженерной защиты Харбинского технологического института (Харбин), Нанкинский Институт географии и лимнологии Академии наук КНР (Нанкин, провинция Цзянсу), Первый железнодорожный проектно-изыскательский институт (Сиань, провинция Шаньси), Первая автодорожная консультационная компания (Сиань, провинция Шаньси), Цинхайский научно-исследовательский институт транспорта, (Синин, провинция Цинхай), Юго-Западный Исследовательский центр Китайской железной дороги (Чэнду, провинция Сычуань), Сычуаньский проектно-изыскательский институт путей сообщения (Чэнду, провинция Сычуань), и др. (рис. 4).



Рис. 4. Центры изучения многолетнемёрзлых пород (★) на административной карте КНР

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

Таким образом, интерес к современному состоянию мерзлотоведения в Китае вполне закономерен.

Для того, чтобы дать представление о сегодняшнем положении дел в мерзлотоведении Китая, ниже мы приводим краткий обзор работ, представленных китайскими специалистами на X Международной конференции по мерзлотоведению (Салехард, 25—29 июня 2012 г.), и на XII Международном конгрессе Международной ассоциации по инженерной геологии и проблемам охраны геологической среды (Турин, 15—19 сентября 2014 г.).

Проходившая в административном центре Ямало-Ненецкого автономного округа г. Салехарде X Международная конференция по мерзлотоведению (МКМ) была организована Международной ассоциацией мерзлотоведения (International Permafrost Association, IPA) и Институтом криосферы Земли Сибирского отделения РАН (г. Тюмень). Это уже вторая конференция такого рода, проходившая в нашей стране; первая была организована и проведена Институтом мерзлотоведения СО АН СССР в г. Якутске в 1973 г. [Заболотник 2012; Зайцева 2012]. Раньше конференции по мерзлотоведению проводились каждые пять лет, однако в 2008 г. было принято решение проводить их раз в 4 года.

Научная программа работы X Международной конференции по мерзлотоведению, проводившейся под девизом «Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире», включала одновременные заседания шести параллельных секций, на которых были заслушаны доклады по 15 основным направлениям:

1. Инженерные возможности и результаты исследований в регионах с вечной мерзлотой;
2. Мерзлота и перигляциальная геоморфология;
3. Мерзлотная микроморфология и криостратиграфия;
4. Мерзлота и гидрологические процессы;
5. Потоки парниковых газов в криолитозоне и газогидраты;
6. Наблюдения за мерзлотой: локальный — дистанционный мониторинг;
7. Мерзлота и климат: моделирование и перспективы исследований;
8. Мерзлота и прошлое;
9. Динамика деятельного слоя;
10. Динамика прибрежной и подводной криолитозоны;
11. Геофизические исследования криолитозоны;
12. Мерзлота и общество;
13. Мерзлотная микробиология;
14. Пространственное распространение и картирование многолетнемерзлых пород;
15. Сохранение окружающей среды в регионах с вечной мерзлотой.

В работе конференции приняли участие 567 делегатов из 22 стран, в том числе из 15 европейских: Австрии, Аргентины, Великобритании, Германии, Дании, Испании, Италии, Канады, Китая, Монголии, Нидерландов, Новой Зеландии, Норвегии, Португалии, России, Румынии, США, Финляндии, Франции, Швейцарии, Швеции, Японии. Официальными языками конференции были русский и английский.

XII Международный конгресс Международной ассоциации по инженерной геологии и проблемам охраны геологической среды проходил 15—19 сентября 2014 г. в Италии, в г. Турине [Осипов и др. 2015]. Конгресс проходил под девизом «Инженерная геология для общества и территорий».

Международная ассоциация по инженерной геологии и проблемам охраны геологической среды (МАИГ) была создана в 1964 г. Свои конгрессы МАИГ проводит один раз в четыре года, начиная с 1970 года, когда в Париже состоялся первый конгресс МАИГ. XII Международный конгресс МАИГ стал юбилейным — он совпал с 50-летием образования этой организации. Кроме того, этот конгресс был посвящен памяти одного из основателей МАИГ — почетного президента ассоциации — профессора Марселя Арну (Франция). Конгресс собрал 1050 человек из более чем 60 стран. Было представлено 1300 докладов, которые были объединены в 8 тематических томов материалов Конгресса общим объемом 8640 стр. по следующим направлениям:

1. Изменение климата и инженерная геология;
2. Оползневые процессы;
3. Речные бассейны, отложения водоемов и водные ресурсы;
4. Морские и береговые процессы;
5. Урбанистическая геология, планирование устойчивого развития и использование городских ландшафтов;
6. Прикладная геология для крупных инженерных проектов;
7. Образование, профессиональная этика и общественное признание инженерной геологии;
8. Сохранение культурного наследия.

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

Как на X МКМ, так и на XII Международном конгрессе МАИГ Китай был представлен весьма значительным числом докладов. Однако на XII Международном конгрессе МАИГ количество работ по мерзлотной тематике составило, по вполне очевидным причинам, лишь небольшую часть от общего числа заявленных докладов.

Доклады китайских мерзлотоведов, представленные на X МКМ и на XII Международном конгрессе МАИГ, можно разделить на пять групп. К первой, наиболее многочисленной, следует отнести работы по исследованию особенностей и закономерностей распространения многолетней мерзлоты в Китае; ко второй группе — доклады, посвящённые изучению криогенных природных процессов в криолитозоне Китая. Третью группу составляют работы по исследованию свойств мёрзлых грунтов, и четвёртую — доклады, в которых рассматривались различные вопросы строительства железных и шоссейных дорог в криолитозоне. Наконец, небольшую пятую группу составили доклады, посвящённые применению новых приборов и методов в изучении многолетнемерзлых пород.

1. Исследования распространения многолетней мерзлоты в Китае

Исследованию закономерностей распространения, мощности и температуры многолетнемерзлых пород, а также изучению влияния альпийской растительности на процессы переноса тепла и влаги в активном слое⁵ грунтов в районе истока

⁵ Активным, или деятельным, слоем называется поверхностный слой грунта, ежегодно летом оттаивающий, а зимой промерзающий. В межсезонные периоды активный слой наиболее уязвим. В области распространения многолетнемерзлых пород повреждение (нарушение) поверхности активного слоя приводит к увеличению теплового потока в грунт, что влечёт за собой протаивание подземных льдов, развитие термокарстовых процессов, образование просадок, провалов, оврагов.

реки Хуанхэ на северо-востоке Тибетского нагорья посвящены доклады Лю Донляна, Джин Хиджуна и Лин Лина [Luo Dongliang et al. 2012; Lin Lin et al. 2012]. По данным полевых исследований, проводившихся с июля по ноябрь 2010 г., самая низкая среднегодовая температура грунта составляет в указанном районе минус 1,9°C, а максимальная мощность мерзлоты достигает 74 м в горах Баян-Хара (Восточный Куньлунь) на высоте более 4700 м. Но в целом мерзлота здесь высокотемпературная (с температурой не ниже минус 1°C) и маломощная — меньше 40 м. В Еньюгоу на высоте 4400 м имеют место резкие изменения среднегодовой температуры грунта с «переходом через ноль» — от минус 0,2°C до плюс 1,3°C. Нижняя граница области прерывистого распространения многолетнемерзлых пород проходит на высоте 4330 м по северным склонам горного хребта Баян-Хара и на высоте 4450 м на южном склоне горы Буциншань. Установлено, что за последние 30 лет вследствие потепления климата и растущей антропогенной деятельности нижняя граница мерзлоты на южных склонах хребта Баян-Хара поднялась на 130 м (вверх по склону), а на и 50 м на северных его склонах — на 50 м.

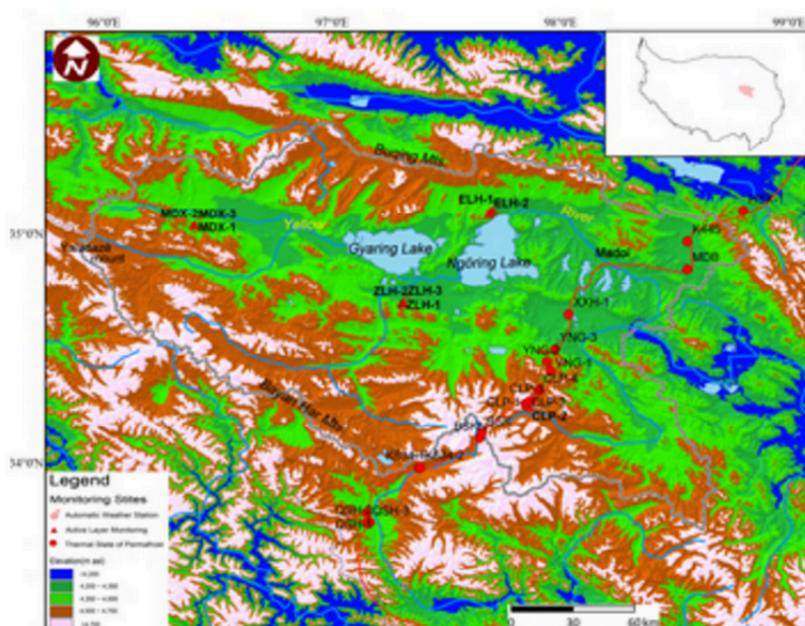


Рис. 5. Распределение вечной мерзлоты и скважин контроля температуры многолетнемерзлых пород в районе истоков реки Хуанхэ [Huijun Jin 2011]



Рис. 6. Хребет Баян-Хара. Фото ©NASA с сайта <http://www.everystockphoto.com/photo.php?imageId=1791253>

О результатах исследований влияния осадков на динамику температурного и влажностного режима активного слоя многолетней мерзлоты на склонах хребта Тангула⁶ сообщается в докладе Вен Жи, Ма Вей и их коллег [Wen Zhi et al. 2012].

⁶ В горах Тангула (или, как чаще говорят, Тангла), на границе провинции Цинхай с Тибетским автономным районом, находится исток реки Янцзы.

Активный слой в зоне вечной мерзлоты играет важную роль в энергетическом обмене между вечной мерзлотой и атмосферой. Количество осадков потенциально влияет на динамику температурного и влажностного режима активного слоя.

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

На Тибетском нагорье осадки довольно часты. Так, по сообщению авторов, в период с 25 июня по 19 сентября 1998 г. количество дней с осадками составило от общего числа дней 95,3% на южных склонах хребта Тангула (или Тангла) и 84,7% на его северных склонах. Испарение здесь летом большое, и до 50—60% от общего количества выпавших осадков снова испаряется в атмосферу. Изменение климата может привести к изменению количества выпадающих здесь осадков, поэтому исследование взаимодействия процессов переноса влаги и тепла в грунте является крайне важным и актуальным.

Чтобы исследовать динамику температурного и влажностного режима активного слоя и выявить закономерности взаимодействия атмосферных осадков и активного слоя, авторами был проведен натурный эксперимент, в ходе которого измерялись температура и влажность грунта активного слоя. Результаты исследования показали, что температура и влажность грунта активного слоя имеют тесную корреляцию с количеством выпадающих осадков. Количество осадков существенно увеличивает влажность грунта в активном слое и ведёт к его охлаждению (вследствие испарения грунтовой влаги). Количество и интенсивность осадков существенно сказываются в верхней части активного слоя, но имеют незначительное влияние на глубоких горизонтах активного слоя. Авторами отмечено, что воздействие летних осадков на температуру грунта может продолжаться до самой зимы, причём этот «эффект запаздывания» (the lag effect) может сказываться на температуре грунта активного слоя даже в следующем году.

Чжао Линь, Ву Тунхуа, Шэн Юй, Цяо Юнпин и Се Чанвей, обсуждая результаты мониторинга температурного режима многолетней мерзлоты в Западном Китае [Zhao Lin et al. 2012], отмечают, что именно пространственные различия в атмосферных осадках явились основной причиной того, что на сегодняшний день нижняя граница многолетней мерзлоты на Тибетском нагорье повысилась в направлении с востока на запад, а в горах Тянь-Шаня, наоборот, она снизилась в западном направлении. По их мнению, главной причиной деградации⁷ мерзлоты в Западном Китае является потепление климата.

⁷ Деградация мерзлоты — переход многолетнемёрзлых грунтов из мёрзлого состояния в талое, вызванный повышением среднегодовой температуры грунта. Сопровождается явлениями осадки грунтов, термокарстом, образованием разнообразных форм рельефа. Процесс, противоположный деградации, который выражается в увеличении площади распространения и мощности многолетнемёрзлых пород и понижении их температуры, называется агрегацией мерзлоты.

Сообщение большого коллектива авторов посвящено изучению распространения многолетней мерзлоты в верхней части бассейна реки Хэйхэ в Западном Китае [Zhang Tingjun et al. 2012]. Бассейн реки Хэйхе расположен в восточной части гор Циляншань⁸, в области с холодным семиаридным климатом. Примерно 14100 кв. км или 10,3% площади бассейна

⁸ Горный хребет Циляншань (другое его название — хребет Рихтгофена) представляет собой северную ветвь горной системы Наньшань.

реки Хэйхе занимают многолетнемёрзлые грунты. Полевые исследования распространения многолетнемёрзлых пород здесь были выполнены летом и осенью 2011 г. По результатам бурения было установлено, что в верхней части бассейна реки Хэйхэ температура грунтов на глубине 10 м меняется в пределах от плюс 2°C на высоте 3600 м над уровнем моря до минус 1,5°C на высоте 4132 м над уровнем моря. Полученные данные позволили сделать вывод, что нижняя граница мерзлоты проходит на высоте между 3650 м и 3700 м над уровнем моря. Мощность активного слоя также меняется с повышением над уровнем моря, достигая на высоте 3700 м величины свыше 4,0 м и уменьшаясь до 1,6 м на высоте 4132 м. Мощность активного слоя измерялась с помощью механических зондов. По оценкам, в верхнем течении р. Хэйхе мощность слоя многолетнемёрзлых пород, составляет около 113 м. Ниже по течению р. Хэйхе мощность многолетнемёрзлых пород постепенно уменьшается сначала до 65 м, затем до 27 м и, далее, до 13 м.

Доклад Сюн Сяожена, Чжан Тингчжуна, Э. Мэдди и др. был посвящён исследованию колебаний концентрации атмосферного метана в высоких широтах Северного полушария [Xiong Xiaozhen et al. 2012]. Известно, что в результате таяния многолетней мерзлоты в атмосферу ежегодно поступает большое количество метана. Выбросы метана в свою очередь способствуют дальнейшему потеплению климата. Исследования, выполненные авторами доклада, показали, что значительное увеличение в летнее время концентрации атмосферного метана в высоких широтах Северного полушария может быть связано именно с увеличением поверхностной эмиссии метана. Причём, более высокие концентрации метана в атмосфере над Сибирью предполагают большую эмиссию этого газа здесь, чем на Аляске и в Канаде. Авторы сообщают о наблюдении ими в 2008—2009 гг. в высоких широтах Северного полушария значительного увеличения концентрации метана в средней и верхней тропосфере, однако связь этого увеличения концентрации с изменением температуры поверхности оказалась слабой.

В сообщении Цзя, Цзэна и Х.Э. Эпштейна [Jia et al. 2012] отмечено, что глобальное и региональное потепление климата в последние десятилетия привело к удлинению вегетационного периода в высоких широтах Северного полушария.

В работе Ван Жунфэня и Ву Цинбая рассмотрено влияние потепления на выделение углекислого газа почвами альпийских лугов Тибетского нагорья во время вегетационного периода [Wang Junfeng, Wu Qingbai 2012]. Исследования, охватившие район площадью 151,6 кв. км на высоте 4600—4800 м, показали отсутствие положительной обратной связи между потеплением и выделением почвами углекислого газа. Это означает, что потепление не стимулирует выделение углекислого газа почвами.

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

Сравнительному исследованию потока тепла через дневную поверхность грунтов в области многолетней мерзлоты и в области сезонного промерзания грунтов Тибетского нагорья было посвящено сообщение Яо Цзиминя, Гу Лянлэя и их коллег [Yao Jimin et al. 2012].

О полевых исследованиях пространственной изменчивости температуры грунта и мощности активного слоя в Центральном Тянь-Шане сообщается в совместном докладе Суня (Институт географии и лимнологии, Нанкин), Гао (Институт инженерных и экологических исследований холодных и аридных регионов, Ланьчжоу), и их коллег из Гисенского университета им. Юстуса Либиха (Гессен, Германия) [Imbery et al. 2012].

Вопросы применения в целях прогноза математической модели, описывающей динамику температуры грунта в холодных регионах, обсуждают Цинь Йиньонг и Дж.Е. Хиллер [Qin Yinghong et al. 2012]. Модель, предложенная авторами, учитывает влияние условий окружающей среды, в частности, температуры воздуха, альбедо земной поверхности, скорости ветра и солнечной радиации на распределение температуры в толще мёрзлого грунта. Модель верифицировалась путём сопоставления расчётных результатов с климатическими данными и данными инженерно-геокриологических исследований вдоль трассы Цинхай-Тибетской железной дороги. Эти данные использовались также для оценки чувствительности температура мёрзлого грунта к изменениям условий окружающей среды. В частности, авторами обсуждаются последствия изменения альбедо земной поверхности на распределение температуры в мёрзлом грунте.

Обсуждению специфики гидрологии криолитозоны был посвящён доклад Ву Минь-ко [Woo Ming-ko 2012].

Особенности распространения многолетней мерзлоты в Китае во время последнего ледникового максимума⁹ обсуждается

⁹ Последний ледниковый максимум (максимум последнего оледенения) — время максимального объёма ледниковых покровов в течение последней ледниковой эпохи приблизительно 26 тысяч лет назад.

в работах [Jin Huijun et al. 2012; Zhao et al 2014]. Так, Джин Хиджун, Гуо Донгсин, Чан Сяоли и Сюй Зичжу [Jin Huijun et al. 2012] сообщают, что в период последнего ледникового максимума нижняя граница многолетней мерзлоты проходила через северное предгорье Западного Цияньшаня (40° с.ш.) на высоте ~1950—2100 м над уровнем моря и на высоте ~2200—2300 м (37°—38° с.ш.) в Восточном Цияньшане. На северных склонах Западного Куньлуня она проходила на высоте ~2800—2900 м в западной части (37° с.ш.), и на высоте ~2400—2500 м в восточной части (39° с.ш.). На южных склонах Тянь-Шаня нижняя граница многолетней мерзлоты проходила во время последнего ледникового максимума на высоте 2100~2200 м, в то время как на северных склонах Тянь-Шаня она проходила на высоте ~1900—2000 м. Далее на север эта граница проходила по южным склонам Алтайских гор на высоте примерно в ~1400—1500 м. Результаты, представленные авторами, хорошо согласуются с тем, как в настоящее время на Тибетском нагорье изменяется с широтой нижняя граница многолетней мерзлоты. Так, в настоящее время на Тибетском нагорье при перемещении на юг на 1° нижняя граница многолетней мерзлоты поднимается над уровнем моря на 150—200 м. По данным [Zhao et al 2014], многолетнемёрзлые породы во время последнего ледникового максимума в Китае были распространены на площади ~3,8—4,3 × 10⁶ кв. км, что на 80—100% больше, чем их площадь распространения в 1970-е гг. (~2,15 × 10⁶ кв. км), и на ~120—150% больше зоны их распространения в 2000-е гг. (~1,75 × 10⁶ кв. км) (рис. 7).

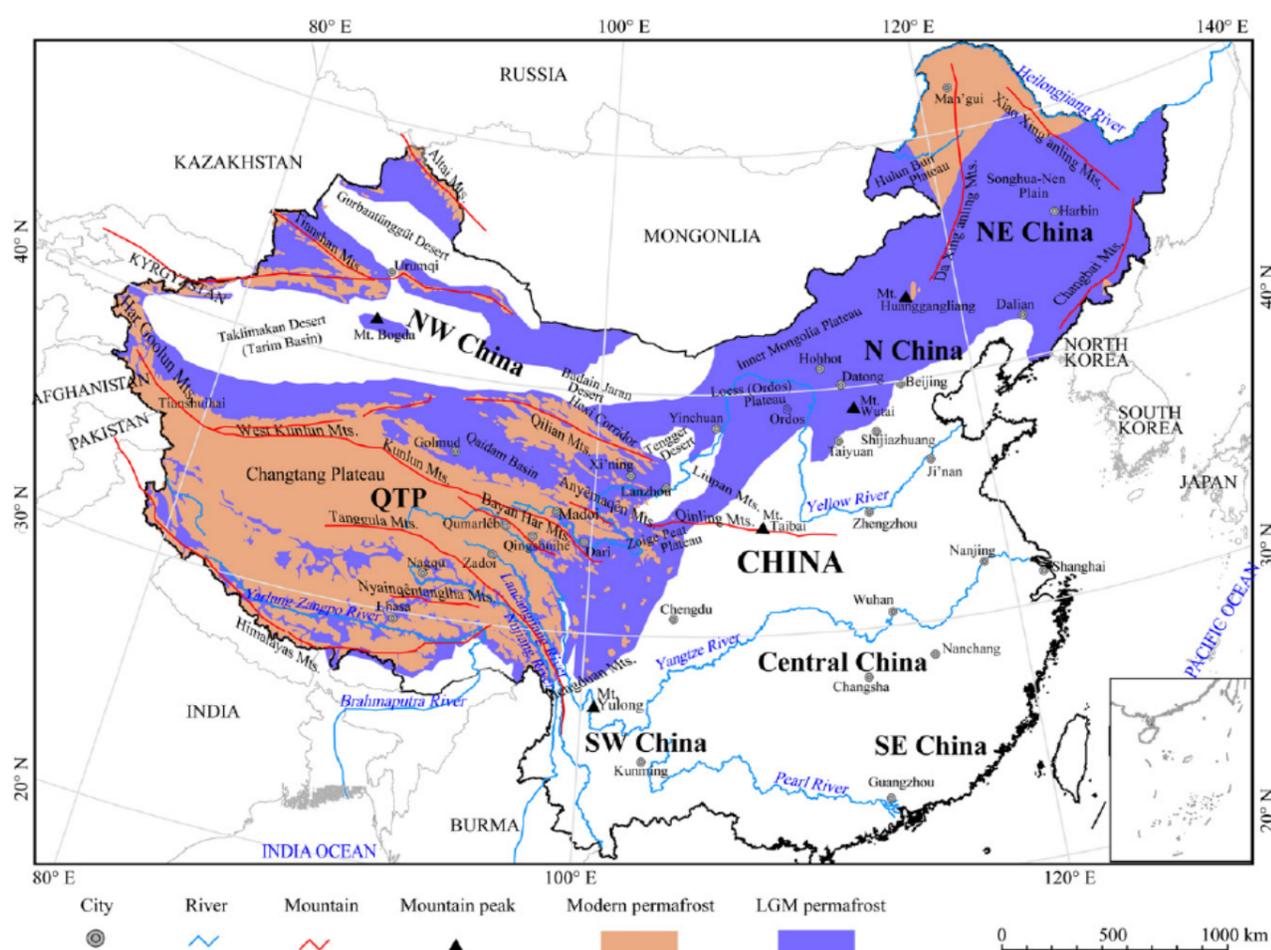


Рис. 7. Распространение многолетнемёрзлых пород во время последнего ледникового максимума (синий цвет) и зона их распространения в 2000 гг. (розовый цвет) [Zhao et al 2014]. QTP — Цинхай-Тибетское нагорье.

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

2. Исследования криогенных природных процессов в криолитозоне Китая

Ян Дацин, Чжан Тингчжун, Дуглас Кейн с коллегами провели исследование с целью выявить связь между режимом стока с северных водоразделов и изменением состояния мёрзлых грунтов [Yang Daqing et al. 2012]. Климатические условия и их изменения существенно влияют на тепловой режим активного слоя и многолетней мерзлоты. Потепление климата в северных регионах приводит к увеличению активного слоя вечной мерзлоты температур, перемещению границы многолетней мерзлоты дальше на север, и увеличению мощности (глубины) активного слоя. Взаимосвязь речного стока и процессов изменения состояния многолетней мерзлоты пока ещё не очень хорошо изучена по причине недостаточности полевых наблюдений и недостатка экспериментальных данных. Авторами были проведены определения температуры грунта, глубины активного слоя и исследованы изменения речного стока в северных регионах. Были изучены долгосрочные климатические и гидрологические характеристики, а также данные о многолетней мерзлоте на территории исследуемых водосборов, чтобы выявить связь между характеристиками стока, температурой грунтов и площадью многолетней мерзлоты на территории исследуемых водосборов. Авторы проводили свои исследования в бассейнах со значительными изменениями климата, гидрологии и состояния многолетней мерзлоты, — в таких, как бассейн реки Юкон (северо-запад Канады и США), и бассейн реки Алдан (правый приток реки Лены), где температура грунта и меженный сток выросли в последние десятилетия. Выполненные исследования позволили выявить тесную связь водного стока с температурой грунта и с количеством и режимом атмосферных осадков [Yang et al. 2002].

Об исследованиях процесса развития термокарстовых озёр в бассейне реки Бейлухэ на Тибетском нагорье сообщают в своём докладе Линь Чжаньчжу, Нью Фуцзюнь, Лю Хуа, Лу Цзяхао, и Ло Цзин [Lin Zhanju et al. 2012]. Бассейн Бейлухэ расположен на Тибетском нагорье на высоте 4600 м в 350 км от города Голмуд. Эта местность характеризуется холодными и засушливыми климатическими условиями. Среднегодовая температура воздуха здесь составляет 3,8°C, достигая максимального значения 21,3°C в середине июля, и минимального значения минус 21,4°C в январе. Многолетняя мерзлота характеризуется здесь сплошным распространением и высокой льдистостью. Среднегодовая температура грунта колеблется в пределах от минус 1,8 до минус 0,5°C. Мощность мёрзлых пород колеблется в пределах от 20 до 80 м; мощность активного слоя колеблется в пределах от 1,8 до 3,0 м.

В пределах бассейна Бейлухэ обнаружено большое число термокарстовых озёр. Средняя их площадь составляет 8500 кв. м, площадь наибольшего из этих озёр превышает 60000 кв. м, а площадь наименьшего составляет 1200 кв. м. Глубина воды в озёрах колеблется от 0,5 до 2,5 м. Типичное термокарстовое озеро имеет размеры от 120 м до 150 м и глубину до 2 м. Факты расширения термокарстовых озёр в бассейне Бейлухэ были установлены в ходе натурных обследований и изучения аэрофотоснимков. Выяснилось, что скорость отступления берегов термокарстовых озёр в период с 2006 по 2011 гг. составляла здесь от 0,5 до 0,8 м/г, при средней скорости 0,6 м/г.

О полигональных структурах, образовавшихся на восточной окраине Тибетского плато на высоте 4301 м над уровнем моря около 13,5 тысяч лет назад в результате резкого понижения температуры, сообщается в докладе Джин Хиджуна и С.А. Харриса [Harris, Jin Huijun 2012], а в докладе Ян Сичжуна и Джин Хиджуна [Yang Sizhong, Jin Huijun 2012] представлены исследования изотопного состава повторно-жильных льдов в горах Большого Хингана в окрестностях Итулихэ (50°32' с.ш., 121°29' в.д., 730 м над уровнем моря). Обсуждению гипотезы образования ледяных линз в водонасыщенных промерзающих грунтах посвящён доклад Ли, Чжоу, Фэна и Сю [Li et al. 2012].

Вопросы устойчивости склонов в условиях вечной мерзлоты обсуждаются в докладе Лан Хэн-сина и Д. Крюдена [Cruden, Lan Heng-Xing 2014].

Оползни, вызванные прорывами включений воды из замерзшего грунта в боковой части Лессовой платформы Хэйфантай, рассматриваются в докладе Ли Тонлу, Син Сяньли и Ли Пина [Li Tonglu et al. 2014]. Лессовая платформа Хэйфантай в провинции Ганьсу — это четвертая терраса реки Хуанхэ. По сообщению авторов, оползни здесь — достаточно типичное явление. Вследствие промерзания грунта в холодное время года разгрузка грунтовых вод прекратилась, что привело к накоплению подземных вод в пределах склона. Наблюдение показывает, что промерзание грунта может привести к повышению напора грунтовых вод более чем на 3 м. Последовавшее затем весной ударное увеличение давления поровой воды и снижение прочности грунта при весеннем его оттаивании неизбежно повлекли за собой обвал склона. Высокий гидравлический градиент может возникнуть и в результате внезапного подъёма уровня грунтовых вод вследствие таяния, при этом устойчивость склона опять-таки снижается, и всё это вместе взятое приводит к обрушению склона.

Чан Сяоли, Джин Хиджун, Хи Руися, Юй Шаопэн предприняли исследование теплового воздействия лесной растительности на мерзлый грунт в горах Большого Хингана в Северо-Восточном Китае [Chang Xiaoli et al. 2012]. Основные выводы этого исследования сводятся к следующему:

1. Весной сроки начала оттаивания грунта оказываются разными из-за различий в растительном покрове поверхности. Так, благодаря высокой способности растений в осоко-лиственничном лесу удерживать воду своими корнями, грунт в таком лесу оттаивал последним, и обладал самой низкой скоростью прогрева приповерхностного слоя. Наоборот, в области таликов мерзлые грунты обычно оттаивают быстро.

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

2. Летом лесная растительность затеняет поверхность грунта от действия солнечной радиации, что приводит к понижению температуры поверхности грунта в лесу по сравнению с открытым пространством. Эффект охлаждения в осоко-лиственничном лесу оказывается самым сильным из всех типов леса при одинаковых климатических условиях, обеспечивая среднегодовую температуру поверхности грунта в лесу на 4,9°C ниже, чем на открытом пространстве. При охлаждающем воздействии березово-лиственничного леса, осокового болота, багульниково-мохово-лиственничного леса, травянисто-берёзово-кустарниковой растительности и мохово-лиственничного леса среднегодовая температура поверхности грунта составила соответственно 3,4; 3,4; 1,7; 1,5 и 0,6°C (см. **табл. 1**).

Таблица 1

Температура поверхности и эффект затенения для каждого типа леса

	Тип растительного покрова	Средняя годовая температура поверхности, °C	Эффект затенения, °C
А	Лес: Багульник болотный широколиственный (<i>Ledum palustre var. dilatatum</i>) — Мох бриум (<i>Bryum</i>) — Лиственница даурская (<i>Larix gmelini</i>)	1,7	1,7
Б	Лес: Мох бриум — Лиственница даурская	2,8	0,6
В	Лес: Осока (<i>Carex tato</i>) — Лиственница даурская	-1,5	4,9
Г	Лес: Берёза (<i>Betula Larix gmelini</i>) — Лиственница даурская	0	3,4
Д	Кустарники: Трава — Берёза кустарниковая (<i>Betula fruticosa</i>)	1,9	1,5
Е	Голая земля	3,4	0
Ж	Осоковое болото: Осока (<i>Carex tato</i>)	0	3,4

3. Осенью температура земной поверхности с разнообразной растительностью быстро снижается в следующем порядке: мохово-лиственничный лес с редкими лиственницами и кустарниками; березово-лиственничный лес, наиболее быстро сбрасывающий листву; осоковое болото (со скоростью охлаждения на глубине 0,1 и 0,2 м почти равное мохово-лиственничному лесу из-за отсутствия деревьев и кустарников), и в осоко-лиственничном лесу с низкой скоростью охлаждения из-за высокой способности его растений удерживать своими корнями воду (**табл. 2**).

Таблица 2

Скорость охлаждения поверхности грунта поздней осенью в зависимости от типа растительного покрова

Глубина (м)	Скорость охлаждения поверхности грунта (°C/день)						
	Лес: багульник болотный широколиственный — мох бриум — лиственница даурская	Лес: мох бриум — лиственница даурская	Лес: осока — лиственница даурская	Лес: берёза — лиственница даурская	Кустарники: трава — берёза кустарниковая	Голая земля	Осоковое болото
0,0	0,8	1,2	0,1	1,0	0,4	0,1	0,7
0,1	0,4	0,6	0,0	0,5	0,1	0,1	0,5
0,2	0,2	0,3	0,0	0,2	0,0	0,1	0,4
0,5	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
0,8	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0

4. Зимой средняя температура грунта под различным типом растительности существенно зависит от толщины снежного покрова.

Чжан Тингчжун, Чэнь Лян и О. Фрауэнфельд [*Frauenfeld et al. 2012*] для предпринятого ими исследования использовали данные ежемесячных наблюдений за температурой грунта, выполненные на 423 станциях в России. Эти данные охватывают период наблюдений с конца 1880-х гг. до 2000 г. На каждой станции температура грунта измерялась по глубине в девяти точках (уровнях) в диапазоне от 0,2 до 3,2 м.

Авторы проанализировали данные с 1930 по 2000 гг. и с 1956 по 2000 гг. Выполненный ими анализ данных показал статистически значимые тренды в аномалиях ежегодного теплового потока на севере Евразии по данным 108 из 423 станций. Из них в 55 случаях получены данные о поступлении тепла в грунт (т.е. имеет место разогрев грунта). Так, долгосрочный тренд годового потока тепла показал статистически значимые изменения, превышающие 150 Ватт/кв. м за 45-летний период. На 53 станциях, наоборот, было установлено «выхолаживание» грунта, т.е. имеет место тепловой поток из грунта в атмосферу при аномальных холодных сезонах. Авторы особо отметили предварительный характер своего исследования.

Влияние процессов замораживания и оттаивания на плотность скелета грунта (т.е. плотность полностью высушенного

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

грунта) и содержание в грунте воды рассматривается в работе Ян Чэнсонга, Пин Хэ и Чэн Гудона [Yang Chengsong et al. 2012], в которой показано, что многократное замораживание и оттаивание грунта не сказывается на плотности скелета грунта, но может привести к изменению распределения воды в верхних горизонтах массива грунта вследствие миграции воды из нижних горизонтов. Отмечено также, что вдоль трассы Цинхай-Тибетской железной дороги (ЦТЖД) типичные грунты представлены глинистым песком (clayey sand) с плотностью скелета $1,55 \text{ г/см}^3$, и алевритистым песком (silty sand) с плотностью скелета $1,78 \text{ г/см}^3$.

Механизмы миграции воды и соли в грунте в процессе циклического замораживания-оттаивания обсуждает в своём докладе Ху Бинг [Hui Bing 2012]. Автор справедливо замечает, что на процесс миграции воды при замораживании-оттаивании грунта влияют градиент температуры, градиент начальной влажности, градиент концентрации соли, размеры частиц грунта. Градиент температуры является одним из важных факторов, обеспечивающих миграцию грунтовой влаги. Грунтовая вода не только растворяет соль, но также и транспортирует соль. Поэтому на миграцию соли в грунте воздействуют, кроме соответствующих физических и физико-химических факторов, также и те, что регулируют миграцию воды в грунте. Тем самым, механизм миграции соли в грунте оказывается в значительной степени зависящим от механизма миграции воды. Главным образом, миграция соли в грунте бывает обусловлена градиентом концентрации соли и градиентом температуры.

К этой работе Ху Бинга естественным образом примыкает предпринятое Ван Цюанем с группой своих коллег исследование влияния миграции влаги на изменение структуры пор сезонномерзлых грунтов [Wang Quan et al. 2012]. В частности, изучение структуры грунтов при помощи растрового электронного микроскопа с увеличением в 2000 раз позволило авторам сделать вывод, что при последовательном понижении температуры от комнатных значений до минус 5°C , минус 10°C , минус 15°C размер пор в грунте сначала уменьшается, но затем становится всё больше и больше. При дальнейшем понижении температуры микроструктуры в грунте становятся все меньше, и степень агрегации между частицами становится в целом больше.

3. Исследования свойств мёрзлых грунтов

В докладе Ма Вей, Ван Даяна и Вен Жи освещаются современные достижения китайских специалистов в изучении механики мёрзлых грунтов, а также обсуждаются направления дальнейших исследований в этой области науки [Ma Wie et al. 2012]. В частности, авторами доклада отмечены успехи, достигнутые в наши дни китайскими мерзлотоведами в исследованиях прочностных и деформационных свойств мёрзлых грунтов; в исследованиях процессов переноса тепла и влаги в мерзлых грунтах, в том числе исследования содержания незамёрзшей воды в мёрзлом грунте и исследования миграции влаги в промерзающем грунте; взаимодействия мёрзлых грунтов и сооружений; в изучении и установлении определяющих соотношений механики мерзлых грунтов; в разработке методов физического и математического моделирования; в создании новых методик исследований свойств мёрзлых грунтов.

В качестве задач для будущих исследований по механике мерзлых грунтов в Китае авторы называют: дальнейшее изучение физических характеристик и механических свойств мерзлых грунтов; моделирование механического поведения и термодинамических свойств мёрзлых грунтов; разработку новых и более совершенных методов полевых исследований свойств мёрзлых грунтов; дальнейшее совершенствование методик и оборудования для испытаний мёрзлых грунтов; широкое применение недетерминистских (стохастических) методов в исследованиях мерзлых грунтов; широкое использование численных методов, которые «достигли больших успехов в решении инженерных и научных задач в последние десятилетия».

Доклад Ван Даяна, Ма Вэя, Чжан Цзюньвэя, Ху Гуана и Вэнь Чжи посвящён модельным экспериментальным исследованиям трения поверхности сваи в процессе оттаивания мёрзлого грунта [Wang Dayan 2012]. В целом, авторы получили вполне ожидаемые результаты. Так, в частности, по их данным, с повышением температуры вмещающего грунта происходит уменьшение сопротивления боковой поверхности сваи; при оттаивании мёрзлых грунтов сопротивление поверхности круглой сваи больше, чем сваи квадратного сечения, и т.д.

О результатах лабораторных исследований изменения температуры замерзания глинистых грунтов под действием высоких нагрузок сообщается в докладе Ху Гуана, Ма Вей и Ван Даяна [Hui Guan 2012]. Авторы проводили определения температуры начала замерзания глинистых грунтов при влажностях 25%, 30%, 34% и 38%, при значениях приложенной нагрузки в пределах от 0 до 10 МПа. Эксперименты, в частности, показали следующее.

При одной и той же нагрузке, но при разной влажности, участок («полка») льдообразования на диаграмме охлаждения грунта оказывается менее чётко выраженным у маловлажного грунта. При фиксированной влажности грунта участок льдообразования на диаграмме охлаждения грунта с увеличением приложенной нагрузки становится всё более выраженным.

Влажность (содержание воды в образцах) оказывает влияние на различных участках диаграммы охлаждения грунта. Продолжительность времени замерзания свободной воды в грунте возрастает с увеличением влажности грунта; а на участке замерзания связанной воды скорость охлаждения грунта тем больше, чем больше его исходная влажность.

При фиксированной внешней нагрузке, температура начала замерзания грунта повышается с увеличением начальной влажности грунта. Иными словами, с увеличением влажности грунта температура его замерзания приближается к температуре замерзания чистой воды.

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

При фиксированном содержании воды температура начала замерзания грунта линейно зависит от приложенной к нему нагрузки. Эта зависимость имеет следующий вид:

$$T_{bf} = aP + b,$$

где T_{bf} — температура начала замерзания грунта, °С; P — приложенная нагрузка, МПа; эмпирические коэффициенты a , b зависят от влажности грунта (табл. 3).

Таблица 3

Значения параметров a и b

Влажность грунта W , %	a	b	Коэффициент корреляции R^2
25	-0,093	-0,664	0,996
30	-0,083	-0,644	0,936
34	-0,074	-0,559	0,978
38	-0,085	-0,391	0,983

В зависимости от начальной влажности грунта скорость понижения его температуры замерзания меняется с ростом приложенной нагрузки в очень небольших пределах, от минус 0,074 до минус 0,093°С /МПа.

Доклад Чжао Шупинга, Ма Вэя и Чжэн Цзяньфэна посвящён исследованиям деформационных свойств мёрзлых лёссов одного из районов города Ланьчжоу в провинции Ганьсу [Zhao Shu-ping et al. 2012]. Результаты испытаний мёрзлых лёссов на одноосное сжатие, выполненных в диапазоне температур от минус 0,6 °С до минус 5,1 °С, позволили авторам, в частности, сделать вывод, что для мёрзлых лёссов Ланьчжоу деформация на пределе текучести составляет 0,7%, прогрессирующее течение развивается при деформации 6,5%, а критическое значение деформации разрушения составляет 10%.

Ли Гуою, Ма Вэй, Фэн Вэньцзы, Му Янху и Ли Синбай сообщают о результатах своих исследований теплопроводности и температуры замерзания грунтов, загрязнённых нефтью [Li Guoyu et al. 2012]. Авторы отмечают, что вследствие загрязнения нефтью теплофизические свойства грунтов могут существенно меняться. Так, при фиксированной (постоянной) плотности скелета грунта теплопроводность загрязнённого нефтью грунта монотонно увеличивается с увеличением его влажности. Зависимость теплопроводности грунта от степени его загрязнения более сложная: при фиксированной температуре с увеличением содержания нефти в грунте его теплопроводность сначала уменьшается, затем, при достижении содержания нефти в грунте около 12%, теплопроводность резко возрастает, после чего вновь продолжает снижаться с увеличением содержания нефти.

Влияние температуры на теплопроводность загрязнённого нефтью грунта зависит в первую очередь от того, находится ли грунт в мёрзлом состоянии или нет. Результаты исследований показывают, что диаграмму зависимости теплопроводности грунта от его температуры можно разделить на три участка. Первый участок диаграммы соответствует положительной температуре грунта. На этом участке теплопроводность образцов грунта с содержанием нефти 0%; 2,3% и 5,8% снижается с понижением температуры. Однако, на этом же участке теплопроводность образцов грунта с содержанием нефти 11,6%; 12,5% и 23,2% несколько растёт с понижением температуры. В качестве возможной причины этого явления называется твердение при понижении температуры некоторых углеводородных соединений, входящих в состав нефти.

На втором участке диаграммы, представляющим собой малую окрестность около точки 0°С, теплопроводность грунта резко меняется за исключением образцов грунта с содержанием нефти 5,8%, 11,6% и 23,2%. Такое резкое изменение величины теплопроводности объясняют, во-первых, переходом жидкой поровой воды в лёд, и, во-вторых, сгущением нефти (авторы употребляют термин «конденсация»). На третьем участке диаграммы, который соответствует отрицательной температуре, теплопроводность загрязнённого нефтью грунта постепенно уменьшается при дальнейшем понижении температуры. Что же касается температуры замерзания загрязнённого нефтью грунта, то, согласно экспериментальным данным, она понижается по гиперболическому закону с увеличением содержания нефти в образцах грунта.

Обсуждению результатов компрессионных испытаний талых и мёрзлых льдистых грунтов посвящён доклад Лю Шивэя, Чжан Цзяньмина, Чжан Ху и Чжэн Бо [Liu Shiwei et al. 2012], а работа Фей Юаня [Fey Yuan 2012] посвящена определению длительного эквивалентного сцепления глинистых грунтов с помощью метода шарикового штампа, разработанного в своё время в нашей стране Н.А. Цытовичем и С.С. Вяловым и по сей день широко применяемого в практике исследования прочностных свойств мёрзлых грунтов.

4. Строительство дорог в криолитозоне Китая

Доклад Ню Фуцзюня, Линь Чжаньчжу, Лю Хуа, Лу Цзяхао и Лю Чжэнпина [Niu Fujun et al. 2012] был посвящён вопросам устойчивости насыпи Цинхай-Тибетской железной дороги. В частности, в качестве одного из способов охлаждения пород железнодорожной насыпи используется покрытие её откосов дроблёными скальными породами (щебнем). По-

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

скольку Цинхай-Тибетская железная дорога построена на многолетнемёрзлых грунтах, то проектировщиками и строителями уделялось большое внимание охлаждению пород, подстилающих дорожное полотно. Дорога построена с учётом требований сохранить в мёрзлом состоянии породы, подстилающие железнодорожную насыпь. Натурные измерения показали, что устойчивость железнодорожной насыпи ко внешним тепловым воздействиям гораздо выше там, где откосы насыпи покрыты щебнем, в отличие от обычных участков, где нет такого покрытия. Исследования показали, что на защищённых слоем щебня участках железнодорожной насыпи наблюдается понижение температуры подстилающих пород, имеет место хорошая симметрия температурного поля, и повышается кровля многолетнемёрзлых пород. Авторы отмечают, что за все годы эксплуатации Цинхай-Тибетской железной дороги её насыпь остаётся в целом стабильной. Скорость движения поездов по трассе достигает 100 км/ч, что обеспечивается конструктивными условиями дороги.

Результаты экспериментальных исследований теплозащитных свойств слоя щебня, покрывающего дорожную насыпь, обсуждают в своём докладе Цянь Цзинь, Юй Цихао, Ю Яньхи, Ху Цзюнь и Гуо Леи [Qian Jin et al. 2012]. В частности, исследования процесса конвекции воздуха в слое щебня показали, что непрерывное увеличение толщины слоя щебня не приводит к увеличению теплозащитного эффекта, а существует оптимальная толщина этого слоя.

Об исследованиях осадки при оттаивании так называемых «обычных насыпей» в районах высокотемпературной мерзлоты¹¹ сообщают Чжан Цинлонг, Ли Нин и Му Яньху [Zhang Qinglong et al. 2012].

¹¹ Говоря о температуре мерзлых грунтов, обычно подразумевают её среднегодовое значение на уровне нулевых годовых амплитуд, где сезонные колебания незначительны, т.е. на глубине 10–12 м от дневной поверхности грунта. В зависимости от температуры вечномёрзлые грунты в строительных целях условно подразделяют на высокотемпературные — при среднегодовом значении температуры на уровне нулевых амплитуд выше минус 2 °С — и низкотемпературные — при среднегодовом значении температуры на уровне нулевых амплитуд ниже 2 °С (см., например, [Жданова 2004]).

При сооружении Цинхай-Тибетской железной дороги на участках, сложенных сильнольдистыми или же высокотемпературными мёрзлыми грунтами, принимались специальные меры для охлаждения мёрзлых пород, подстилающих земляное полотно. Однако на некоторых участках Цинхай-Тибетской железной дороги насыпи возводились традиционным способом (это так называемые «обычные» насыпи).



Рис. 8. Технологические приёмы охлаждения мёрзлых пород, используемые при строительстве Цинхай-Тибетской железной дороги [Wu Qingbai et al. 2008]: дроблёный камень в покрытии (слева) и насыпи (справа)

Рис. 9. Откос щебневой насыпи на участке Цинхай-Тибетской железной дороги в районе горы Фэнхошань (4800 м) с вентиляционными трубами, позволяющими холодному воздуху циркулировать под железнодорожным полотном.
Фото с сайта <https://ru.pinterest.com/pin/382031980864033798/>

Исходя из температурных, механических и геологических условий на Цинхай-Тибетском плато, авторы проанализировали изменение тепловых и деформационных характеристик обычных насыпей на срок в 50 лет. В частности, выполненный анализ показал, что при потеплении климата произойдёт снижение кровли многолетнемёрзлых пород под обычными насыпями. Причём чем ниже такая насыпь, тем большим будет величина снижения кровли мерзлоты. Так, согласно расчётам авторов, за 50 лет кровля многолетнемёрзлых пород под насыпями высотой 2,0 м, 4,0 м и 6,0 м может опуститься соответственно до глубины 4,15 м, 3,7 м и 3,3 м (считая от верхней отметки насыпи), что, разумеется, окажет серьёзное воздействие на устойчивость сооружения.

Обсуждению эффективности применения метода солнцезащиты при возведении дорожных насыпей на Цинхай-Тибетском плато был посвящён доклад Фэн Вэньцзы, Ма Вэй, Чжан Цзэ и их коллег [Feng Wenjie et al. 2012].

Выполненные авторами наблюдения показали, что применение солнцезащитных навесов (тентов) позволяет эффективно понизить температуру грунта насыпи и, тем самым, поднять кровлю многолетнемёрзлых грунтов. Результаты исследований показали, что наиболее выгодная высота установки солнцезащитного навеса должна быть не менее 20 см и не

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

более 70 см от поверхности грунта. Соответственно, для защиты откосов насыпи авторы предлагают устанавливать навес на высоте 50 см от поверхности грунта.

Анализ изменений мощности активного слоя¹¹ под откосами насыпи Цинхай-Тибетской железной дороги представлен в

¹¹ Активный, или деятельный, слой — верхний слой грунта, промерзающий в холодный период года и протаивающий в тёплый период года. Активный слой в области распространения многолетнемерзлых пород называется сезонно-талым слоем (СТС). За пределами этой области активный слой называется сезонно-мерзлым слоем (СТС).

работе Му Яньху, Ма Вэй, Ву Цинбая и Сан Чжижуна [Mu Yanhu et al. 2012]. Исследования показали, что колебания мощности активного слоя под откосами насыпи происходили, в основном, в первые три года после возведения насыпи. Основным фактором, который определяет мощность активного слоя, — это температура воздуха. Благодаря ориентации Цинхай-Тибетской железной дороги с северо-востока на юго-запад, мощность активного слоя под южным и на северном откосах насыпи существенно различна. В районах низкотемпературной мерзлоты разность мощности активного слоя под северным и под южным откосами достигала соответственно 0,9 м для насыпи из щебня и 2,5 м для грунтовой насыпи. В то же время, для районов высокотемпературной мерзлоты эти различия были еще более значительными, достигая величины 3 м для обоих видов железнодорожной насыпи. Понятно, что различная мощность активного слоя на северной и южной стороне железнодорожной насыпи неизбежно приведёт к неравномерным деформациям тела насыпи и, следовательно, отрицательно скажется на её устойчивости. Причём для уменьшения этих различий на обращённых к югу откосах насыпи либо устанавливают термосифоны¹², либо применяют теплозащиту в виде отсыпки слоя из щебня.

¹² Термосифон, или парожидкостный термостабилизатор грунта — устройство для отвода тепла и поддержания или усиления мерзлого состояния грунта в основаниях сооружений. Парожидкостный термостабилизатор грунта представляет собой герметичную сварную конструкцию из металлических труб различного диаметра, частично заполненную легкокипящим хладагентом (хладоном, пропаном, аммиаком, и т.д.). Орбренная надземная часть этой конструкции представляет собой конденсатор, а заглубленная в грунт часть термосифона является испарителем. В процессе теплообмена с вмещающим грунтом хладагент в испарителе термосифона переходит в парообразную фазу и поднимается в конденсатор. Термостабилизаторы широко применяются для повышения несущей способности грунтов оснований сооружений в криолитозоне.



Рис. 10. Технологические приёмы охлаждения мерзлых пород, используемые при строительстве Цинхай-Тибетской железной дороги [Wu Qingbai et al. 2008]: термосифоны (слева) и солнцезащитные навесы (справа)

Исследованию температуры, а также глубины сезонного промерзания грунтов насыпи скоростной железной дороги Харбин–Далянь («Ха-Да») был посвящена работа Лю Хуа, Ню Фуцзюня и их коллег [Liu Hua et al. 2012]. Данная пассажирская железнодорожная магистраль — первый пример проектирования и строительства в Китае скоростной железной дороги в области глубокого сезонного промерзания грунтов¹³. Из-за сложных географических и геологических условий

¹³ Строительство первой в северо-восточных районах Китая скоростной железной дороги (СЖД) Харбин–Далянь («Ха-Да») началось 23 августа 2007 г. Магистраль протяжённостью 904 км была открыта 1 декабря 2012 г. и соединила города Харбин (провинция Хэйлунцзян), Чанчунь (провинция Гирин), Шэньян (он же — Мукден) и Далянь (он же — Дальний) (оба города — в провинции Ляонин). Ширина колеи — стандартная европейская 1435 мм, напряжение — переменный ток 25 тыс. вольт; скорость движения поездов — до 350 км/ч. Ввод магистрали «Ха-Да» в эксплуатацию позволил разгрузить уже существующую (старую) железнодорожную линию, сократить время в пути от Харбина до Даляня в три раза, и увеличить грузооборот между двумя этими городами на 50-60 млн. тонн в год.

Северо-Восточного плато при строительстве магистрали Харбин–Далянь (рис. 11) приходилось возводить различные инженерные сооружения, в частности, насыпи, выемки, тоннели и мосты. Глубина сезонного промерзания вдоль железной дороги меняется от 0,88 м на юге до 2,90 м на севере.

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)



Рис. 11. Скоростная железная дорога Харбин–Далянь.
Фото с сайта <http://en.people.cn/102774/8043338.html>



Рис. 12. Скоростная железная дорога Чанчунь–Гирин.
Фото с сайта <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?p=69736655>

Температурные характеристики насыпи являются наиболее важным фактором для разработки и осуществления мероприятий по обеспечению устойчивости железнодорожного пути. Экспериментальные исследования температурных характеристик насыпи скоростной железной дороги проводились в окрестностях столицы провинции Гирин города Чанчунь (рис. 12). Место проведения исследования характеризуется семигумидным муссонным климатом. Здесь морозный период длится 5 месяцев, с ноября по март следующего года, период устойчивого оттаивания составляет примерно один месяц. Максимальная глубина сезонного промерзания в районе Чанчуна достигает примерно 1,3–1,4 м.

Анализ распределения температуры в теле железнодорожной насыпи на Чанчуньском участке магистрали показал, что изменение температуры грунта происходит по-разному в разных частях земляного полотна. В холодное время года температура в средней части полотна выше, чем под обочинами на той же глубине. Эта разность температур составила почти 5°C в конце января (в 2011 г.), когда температура поверхности земляного полотна достигла своего минимума. С глубиной отмеченная разность температур уменьшается. Исследования показали также, что максимальная глубина сезонного промерзания различна в местах, где строительство завершилось в разное время. Максимальная глубина сезонного промерзания оказалась больше там, где строительство завершилось раньше (к середине мая), и меньше там, где строительство завершилось позже (к середине августа). Кроме того, под обочинами глубина сезонного промерзания грунта больше, чем в средней части земляного полотна.

В докладе Ци Цзилия, Ван Сонгхе, Юй Фана [Qi Jilin et al. 2012] сообщается об исследованиях осадки при оттаивании мёрзлых грунтов насыпи Цинхай-Тибетской скоростной автомобильной дороги.

Цзян Хуа, Шан Вэй и Ху Чжаогуан [Jiang Hua et al. 2014] обсуждают проблемы, связанные с работами по расширению скоростного шоссе Бэйань-Хейхе (в провинции Хэйлунцзян), проходящего в горах Малого Хингана через область островного распространения многолетнемерзлых пород¹⁵. Авторы отмечают, что в описываемом районе мерзлота находится в

¹⁴ По характеру распространения выделяют 3 типа многолетней мерзлоты: сплошная мерзлота, прерывистая мерзлота, островная мерзлота. Температура мерзлого грунта близка к 0°C, а мощность менее 25–50 м. Островная мерзлота представляет собой отдельные участки (острова) мерзлоты среди талого грунта, расположенные вне общей области распространения многолетнемерзлых пород, обычно вблизи её южных границ, а иногда на больших возвышенностях. Мощности толщ находятся в пределах от нескольких десятков метров до нескольких метров, температура мёрзлого грунта на уровне нулевых годовых амплитуд близка к 0°C, а мощность мёрзлых толщ не превышает 25–50 м.

состоянии сильной деградации. Здесь она характеризуется малой мощностью, высокой среднегодовой температурой (выше минус 0,6 °C) и сильной льдистостью, что создаёт большие трудности при строительстве шоссе. Строительные работы существенно влияют на устойчивость грунтов оснований, значительно увеличивая скорость их вертикальных деформаций. Так, за время строительных работ по расширению дороги максимальные вертикальные деформации оснований нового и старого земляных полотен достигли соответственно 40,2 см и 18,6 см. Под новым земляным полотном кровля многолетнемерзлых пород опустилась на 2,7 м, а нижняя граница мерзлоты («подошва»), наоборот, поднялась на 0,7 м.

Исследованию деформирования насыпи скоростной шоссейной дороги Мохэ–Бэйцзицунь (Mohe-Beijicun Highway) посвящена работа Ли Цзиньпина, Жан Чжинжао, Сяо Лу и Дун Дэхуэя [Li Jin-ping et al. 2012]. Проблемы строительства на мёрзлых грунтах в Мохэ обсуждают в своём докладе Ван Цзилян, Чжан Чэньси и Даи Чанлеи [Wang Jiliang et al. 2012].

Уезд Мохэ (провинция Хэйлунцзян) расположен на северном склоне хребта Большой Хинган и на южном берегу реки Амур. Здесь область островного распространения многолетнемерзлых пород со среднегодовой температурой в пределах от минус 0,5 °C до минус 2°C. Мохэ известен своими обширными лесами, в нынешнем Китае мало где сохранившимися, а также тем, что здесь находится Арктическая деревня, Бэйцзицунь — самый северный населённый пункт страны. Это единственное в Китае место, где можно наблюдать полярное сияние и белые ночи. Сюда приезжает большое количество туристов со всего Китая, чтобы посмотреть полярные сияния, белые ночи и красивые, нетронутые человеком ландшаф-

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

ты. Неудивительно, что интересы развития туризма в Мохэ выдвигают обеспечение надёжности, устойчивости и безопасности зданий и сооружений, возводимых там на многолетнемёрзлых грунтах, в разряд важнейших народнохозяйственных задач КНР.



Рис. 13. Деревня Бэйцицунь у подножия горы Цисин на севере хребта Большой Хинган (Дасинъаньлин). Фото с сайта <http://russian.china.org.cn>

Исследованию экологической и инженерно-геологической обстановки в полосе скоростной автомагистрали Бэйань-Хейхе посвящены работы Шан Вей, Ху Чжаогуан, Цзян Хуа и их коллег [Shan Wei et al. 2014, 2015]. Скоростная автомагистраль Бэйань-Хейхе проходит вдоль южной границы многолетней мерзлоты в Северо-Восточном Китае и пересекает северную часть сложных в геологическом отношении гор Малого Хингана.

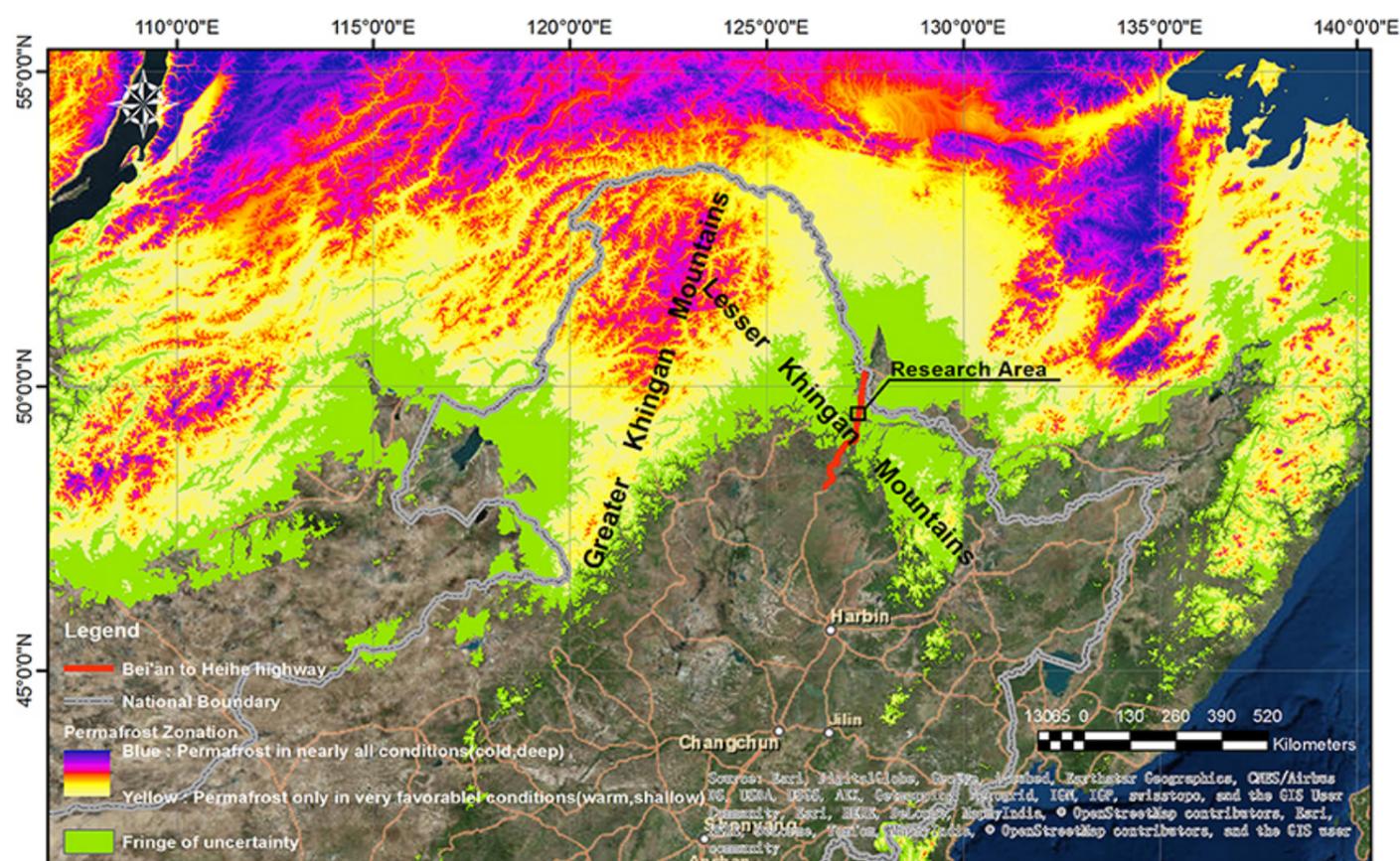


Рис. 14. Скоростная автомагистраль Бэйань — Хейхе (красная линия) на карте распространения многолетнемёрзлых пород (ММП) между 45° и 55° с.ш. [Shan Wei et al. 2015]. Мощность многолетнемёрзлых пород:



В последние годы в полосе автомагистрали отмечались такие угрожающие стабильности земляного полотна и эксплуатационной безопасности дороги явления и процессы, как возрастающие осадки земляного полотна, рост интенсивности оползней на откосах дорожной насыпи, и т.д. По имеющимся по уезду Сунью (округ Хэйхэ, провинция Хэйлунцзян) сведениям о величине среднегодовой температуры с 1954 по 2011 гг. и о значениях среднемесячной температуры воздуха, температуры грунта, количества осадков, максимальной мощности мёрзлых грунтов за период с 1971 по 2000 гг. авторами был выполнен анализ взаимосвязи изменения среднегодовой температуры и состояния многолетней мерзлоты. Ре-

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

зультаты этого исследования показали, что за последние 50 лет среднегодовая температура в уезде Сунью имела постоянную тенденцию к росту, и после 1995 г., когда среднегодовая температура в исследуемой области поднялась выше 0°C, процесс деградации мерзлоты начал здесь ускоряться. В настоящее время в полосе скоростной дороги Бэйань-Хэйхе наблюдается потепление, которое влечёт за собой деградацию здесь многолетней мерзлоты. Деградация многолетней мерзлоты в Северо-Восточном Китае оказывает глубокое воздействие на геологическую среду этого региона и приводит к изменениям здесь инженерно-геологических условий. Эти-то изменения и являются основной причиной инженерно-геологических катастроф в регионе.



Рис. 15. Спутниковые фотографии разреза K176 + 500 — K179 + 900 шоссе Бэйань-Хэйхэ [Shan Wei et al. 2015]: (А) Оползень на K178 + 530 (2000 г.). (В) Спутниковые фотографии K178 + 530 (2004, июнь). (С) Спутниковые фотографии K178 + 530 (2010, сентябрь).



Рис. 16. Карта распределения многолетнемерзлых пород разреза K176 + 500 — K180 + 000 шоссе Бэйань-Хэйхэ [Shan Wei et al. 2015]

5. Методы, приборы и средства исследований свойств мерзлых грунтов

В докладе Даи Чанлэя, Ван Цзиляна и их коллег [Dai Chang-lei et al. 2012] обсуждается конструкция «Геотермометра» — низкотемпературного термометра, оснащённого устройством для голосового воспроизведения результатов измерений температуры мерзлого грунта. Авторы отмечают, что основной компонент «Геотермометра» — это обычный ртутный стеклянный термометр. Максимальный радиус действия «Геотермометра» — 300 мм.

Ма Иньчжао, Чжан Иньшэн и их коллеги [Ma Yingzhao et al. 2012] обсуждают применение высокочастотного георадара для оценки содержания воды в многолетнемерзлых грунтах в районе Амдо в центральной части Тибетского плато (91°37' в.д., 32°14' с.ш., примерно 4700 м над уровнем моря). Предлагаемый метод основан на использовании существующей корреляции между влажностью грунта и мощностью активного слоя многолетней мерзлоты.

Ван Чуньцзяо, Шан Вэй, Гуо Ин, Ху Чжаогуан и Цзян Хуа [Wang Chunjiao et al. 2014] сообщают об использовании спутниковой системы «Landsat» для дистанционного зондирования в тепловом инфракрасном диапазоне при исследовании распространения многолетней мерзлоты в северо-западной части Малого Хинганского хребта.

Ран Юхуа, Ли Синь, Джин Руи [Ran Youhua et al. 2012] обсуждают результаты применения спутниковых спектрорадиометров среднего разрешения MODIS для определения средней годовой температуры земной поверхности в целях картирования многолетней мерзлоты в Китае.

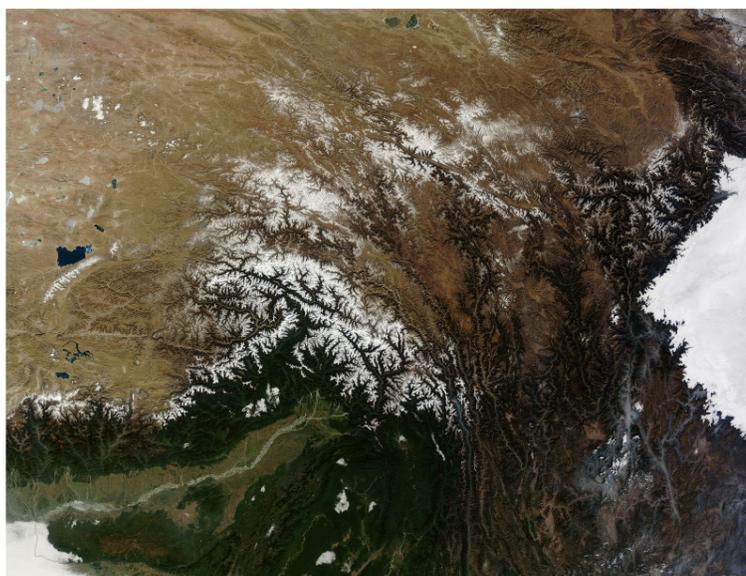


Рис. 17. Снимок NASA MODIS хребта Тангла, 6 января 2013 (по материалам сайта MODIS NASA <http://modis.gsfc.nasa.gov/index.php>). Фото с сайта © SpaceRef Interactive <http://www.spaceref.com/news/viewsr.html?pid=43041>.

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

Спектрорадиометры MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) установлены на американских спутниках «Terra» и «Aqua», где используются для наблюдения за глобальными изменениями облачности, радиационным балансом и процессами, происходящими в океанах, на суше, и в нижних слоях атмосферы Земли. Они позволяют получать спектральные изображения отражений от дневной части земной поверхности и дневного/ночного излучения в каждой точке поверхности Земли, как минимум, каждые два дня. В спектрорадиометре MODIS реализована концепция отображающего радиометра. Прибор обеспечивает получение изображения в 36 дискретных полосах спектра с длиной волны от 0,4 мкм до 14,4 мкм и разрешением от 250 м до 1 км. «Terra» и «Aqua» являются научно-исследовательскими спутниками, они были запущены на околоземную орбиту с авиабазы Ванденберг 18 декабря 1999 г. и 4 мая 2002 г. соответственно в рамках комплексной программы NASA «Система наблюдения Земли» (Earth Observing System, EOS), цель которой — всесторонние исследования суши, воды и атмосферы нашей планеты. Авторы доклада отмечают простоту, надёжность и высокую точность предлагаемого метода определения температуры земной поверхности, хотя и признают существование «некоторых неопределенностей», связанных с масштабным эффектом.

Заключение

Представленный выше обзор современных работ китайских мерзлотоведов показывает, что в настоящее время мерзлотоведение Китая достигло очень высокого уровня. Китайским мерзлотоведам приходится решать важнейшие инженерные задачи, имеющие стратегическое значение для их страны. В частности, к числу задач, успешное решение которых можно, без преувеличения, назвать выдающимся достижением китайского мерзлотоведения, следует отнести, прежде всего, строительство дорог в криолитозоне Китая, — таких, как ставшие ныне знаменитыми Каракорумское шоссе и Цинхай-Тибетская железная дорога, проложенные в условиях высокогорной криолитозоны.

Сквозное автомобильное движение по стратегическому 1300-километровому высокогорному Каракорумскому шоссе (на территории Китая маркируется как G314 — дорога государственного значения Годао 314), соединяющему Китай и Пакистан, было открыто в 1986 г. Этого самое высокогорное в мире шоссе, к тому же проложенное в горной криолитозоне, начинается на западе Китая в г. Кашгар (Синьцзянь-Уйгурский автономный район), пересекает горную систему Куньлунь, проходит по Каракоруму, через пограничный Хунджерабский перевал на высоте 4693 м достигает Пакистана, затем идёт вдоль долин рек Хунза, Гилгит и верхнего течения р. Инд, достигая Равалпинди, а оттуда можно без труда добраться до крупнейших пакистанских портов Карачи и Гвадар. Строительство Каракорумского шоссе велось около двадцати лет, с 1966 по 1986 гг. на китайские средства и по китайскому проекту; 494 км дороги проложены в Китае, остальные 806 км проходят по территории Пакистана. Дорога трудная и опасная; автотранспорт движется по ней со средней скоростью 20—30 км в час.

С января 2010 г. Каракорумское шоссе как единое целое прекратило своё существование. Крупный оползень, сошедший 4 января 2010 г. на участке Каракорумского шоссе в долине Хунза, разрушил деревню Аттабад (на севере Пакистана, 14 км восточнее Каримабада, недалеко от границы с Китаем), убив около двух десятков её жителей, перекрыл шоссе и протекавшую рядом реку Хунза [Carreiro 2010], создав завальное озеро¹⁵. Новое озеро, названное Аттабадским,

¹⁵ Завальное, или подпрудное, озеро — озеро, котловина которого возникла в результате перекрытия русла горной реки. Такие озёра опасны неконтролируемым прорывом в нижележащие области, угрожая их смывом и затоплением.

в настоящее время достигает в длину 21 км, и в глубину более 90 м, скрывая под собой часть Каракорумского шоссе длиной около 20 км. Теперь товары, доставляемые из Китая, перегружаются на лодки и таким образом перевозятся через озеро [Геворкян 2013; Мирановский 2012].



Рис. 18. Следы оползня в долине р. Хунза в районе Каракорумского шоссе (слева) и завальное Аттабадское озеро (справа).

Фото с сайтов <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1536633&page=2> и https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d6/Attabad_Lake_Gilgit.jpg/1280px-Attabad_Lake_Gilgit.jpg

Рис. 19. Перевозка грузов через Аттабадское озеро на лодке. Фото с сайта <https://pamirtimes.wordpress.com/2010/05/02/photographs-from-the-spillway-and-attabad-lake/>

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

В настоящее время в Пакистане с помощью Китая ведутся работы как по сооружению нового участка дороги в обход Аттабадского озера, так и по асфальтированию и расширению Каракорумского шоссе до 30 м (с нынешних 10 м) (рис. 20). После расширения шоссе будет иметь две, а в некоторых местах — четыре полосы для движения транспорта [Мирановский 2012]. Что же касается Аттабадского обхода, то здесь дорога будет проходить по тоннелям, которые уже прокладываются [Пакистан на велосипеде... 2013; По Каракорумскому хайвею... 2014]. Для выполнения всех этих работ в Пакистан направлены около 20 тысяч китайских строителей, а в районе пограничного Хунджерабского перевала под предлогом необходимости охраны и ремонта Каракорумского шоссе размещены несколько тысяч военнослужащих Народно-освободительной армии Китая (НОАК) [Мирановский 2012].



Рис. 20. Каракорумское шоссе сегодня: реконструкция и сооружение Китаем нового участка дороги в обход Аттабадского озера. Фото с сайтов <https://www.sinodefenceforum.com/chinas-overland-silk-road-and-maritime-silk-road-thread.t7264/page-5> и <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1536633&page=2>

На 13-м заседании Координационного комитета по транспортному сектору (ККТС) Центрально-Азиатского Регионального Экономического Сотрудничества (ЦАРЭС) 14–15 мая 2014 г. (Бишкек, Кыргызстан) представитель Пакистана Сабинно Сикандар Джалал сообщил, что, согласно «Плану действий по реализации Стратегии ЦАРЭС по транспорту и содействию торговле до 2020 года» (СТСТ-2020 ЦАРЭС), к январю 2015 г. работы по изменению трассы Каракорумского шоссе у озера Аттабад должны быть выполнены на 36–37%. На сооружение дороги в обход озера Аттабад Эксимбанк Китая выделил 275 млн. долл. [Правительство Пакистана... 2014].

О Цинхай-Тибетской магистрали написано уже много. Всего за пять лет в условиях высокогорья китайцы построили Цинхай-Тибетскую железную дорогу длиной в 1150 километров, положившую конец «Тибету без железных дорог» [Цинхай-Тибетская железная дорога 2005]. Резко улучшив транспортную обстановку на нагорье, эта магистраль играет теперь важную роль в интеграции Тибета в жизнь КНР, в установлении и укреплении связи Тибета с другими провинциями Китая, в активизации культурного обмена между представителями различных национальностей страны.

Надо отдавать себе ясный отчет в том, что сооружением одной только ЦТЖД строительство железных дорог в Китае отнюдь не ограничивается. Наоборот, Цинхай-Тибетская магистраль — это лишь этап в целенаправленной работе руководства Китая по совершенствованию инфраструктуры страны. Специалисты отмечают, что

«железнодорожный транспорт КНР составляет мощный сектор национальной экономики, при этом железнодорожные инвестиционные проекты не рассматриваются только как бизнес проекты. Строительство Цинхай-Тибетской железной дороги никогда не окупится напрямую, но ее сооружение позволило апробировать новые технико-технологические решения, дало неоценимый практический опыт строительства в условиях высокогорья и, самое главное, сделало Тибет неотъемлемой частью Китая» [Бжуско 2009].

Цинхай-Тибетская железная дорога будет продолжена до границы с Непалом [Китай готов продлить Цинхай-Тибетскую железную дорогу... 2006; Ramachandran 2008]. Уже 16 августа 2014 г. была открыта новая пассажирская высокогорная железная дорога «Ла-Жи» из Лхасы до Шигадзе (или Жикаце), второго по значимости города Тибета. Дорога «Ла-Жи», ставшая продолжением Цинхай-Тибетской железной дороги, имеет протяженность 253 км и проходит на высоте от 3600 до 4000 м над уровнем моря, через 29 тоннелей и 116 мостов, по большей части следуя вдоль русла реки Ярлунг-Цангпо (тибетское название р. Брахмапутра, левого притока р. Ганг). По причине сложного рельефа местности движение поездов по дороге ограничено скоростью 120 км/ч. Железная дорога сократила время в пути из Лхасы до Шигадзе с четырех часов до двух по сравнению с автомобильным транспортом.

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

От Шигадзе (высота 3600 м над уровнем моря) железная дорога будет продлена до городка Жангму (он же — Чжанму, или, на непали, — Кхаса); высота 2300 м над уровнем моря), расположенного на границе Китая с Непалом [Ramachandran 2008]. Отдельная железнодорожная линия будет проложена из Шигадзе в Ятунг (он же Ядонг, Чомо, Дромо), крупный торговый город на китайско-индийской границе, всего в нескольких километрах от горного перевала Нату-Ла¹⁶,

¹⁶ Нату-Ла — горный перевал в Гималаях, расположенный на индийско-китайской границе и соединяющий индийский штат Сикким с Тибетским автономным районом. Высота этого перевала, через который в древности проходил Великий Шёлковый путь, составляет 4310 м над уровнем моря.

соединяющего Тибет с индийским штатом Сикким [China to build... 2006; Ramachandran 2008]. В настоящее время идёт сооружение железной дороги протяженностью 402 км из Лхасы на восток, в Ньингчи (он же — Линьчжи), до границы с индийским штатом Аруначал-Прадеш [Началось строительство... 2014; China to build... 2006; Ramachandran 2008]. Эта дорога, которую прокладывают на высоте 2800—3700 м над уровнем моря по долине в горах Гандисышань в южной части Тибета, станет важной составной частью двух новых железнодорожных магистралей, которые соединят Тибет с провинцией Сычуань и провинцией Юньнань в юго-западной части Китая. Если железная дорога из Сычуани в Тибет пока ещё проектируется

¹⁷ Сегодня Сычуань и Тибет связывает весьма опасная автомобильная магистраль, печально известная не только частыми оползнями и обвалами, но и плохим покрытием [Sichuan-Tibet Highway n.d.]. (Прим. ред.).

[Агентство Синьхуа 2009], то строительство Юньнань-Тибетской магистрали уже идёт [Железнодорожный транспорт Китая 2012].



Рис. 21. Наверху — железные дороги Лхаса-Шигадзе (врезка в чёрной рамке) и Юньнань-Тибетская (врезка в лиловой рамке) на карте 2012 г. средне- и долгосрочного развития железнодорожной инфраструктуры КНР
Внизу: строительство дороги «Ла-Жи» (слева и в центре) и Юньнань-Тибетской железной дороги (справа).

С сайтов <http://www.tunneltalk.com/Trans-Himalayas-railway-May12-Prefeasibility-study.php>,
<http://www.economist.com/news/china/21604594-communist-party-deepens-tibets-integration-rest-country-taming-west>,
http://america.pink/ghasa-xigaze-railway_2599681.html и <http://www.tibetanreview.net/china-begins-building-second-railway-link-to-tibet/>

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

Ведутся также работы по сооружению автомобильной магистрали из Лхасы через Ятунг до Калькутты в Индии [Информация о строительных объектах в КНР 2007].

На сегодняшний день протяжённость железнодорожной сети Китая составляет почти 110 тыс. км. В настоящее время в Китае целенаправленно ведётся создание сети скоростных железных дорог, в том числе и за счёт модернизации уже действующих (рис. 22). Сегодня Китай занимает первое место в мире по протяжённости скоростных железных дорог, уже превысившей 3500 км.



Рис. 22. Карта действующих железных дорог КНР по состоянию на 6 января 2016 г.
С сайта https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rail_map_of_China.svg

- — железнодорожные линии, допускающие скорость движения поездов свыше 300 км/ч;
- — недавно построенные железнодорожные линии, допускающие скорость движения поездов до 200—299 км/ч
- — модернизированные и другие железнодорожные линии со скоростным режимом;
- — обычные немодернизированные линии без скоростного режима

Сооружение скоростных железных дорог в Китае неуклонно продолжается. Так, 17 августа 2015 г. в провинции Хэйлунцзян (Северо-Восточный Китай) была сдана в эксплуатацию скоростная пассажирская железная дорога Харбин-Цицикар («Ха-Ци»), строительство которой было начато 30 ноября 2009 г. Она стала самой северной скоростной железной дорогой Китая. Ее протяженность составила 281 км, скорость движения поездов по ней — 250 км/ч. На линии открыты 8 станций. Новая скоростная дорога будет соединена со скоростной железной дорогой Харбин-Далянь [Скоростная железнодорожная пассажирская линия... 2015]. Разумеется, проектирование и строительство этой дороги также не обошлось без участия китайских мерзлотоведов — в феврале 2015 г. были опубликованы результаты исследования поля распределения температур земляного полотна магистрали «Ха-Ци» в зоне глубокого сезонного промерзания грунтов [Yue et al. 2015] (см. также раздел 4 настоящей статьи).

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

Необходимо по достоинству оценивать исключительное значение дорог, сооружаемых в криолитозоне Китая. Если Каракорумское шоссе призвано обеспечить Китаю выход к портам Аравийского моря, а оттуда — в Индийский океан, то строительство дорог на Тибетском нагорье имеет ещё более далеко идущие последствия. Эти дороги не только сокращают путь от Тибета до центра страны. Прямым и неизбежным следствием их строительства станет в самом ближайшем будущем радикальная реструктуризация («переформатирование») экономики Тибета, что, в свою очередь, повлечёт за собой коренное и необратимое изменение столетиями устоявшегося традиционного образа жизни коренных тибетцев. Очевидно, что тем самым развитие транспортной инфраструктуры будет способствовать укреплению внутреннего единства, устойчивости и прочности китайского государства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агентство Синьхуа. МЖД КНР опровергло сообщение о начале в сентябре прокладки железной дороги Сычуань-Тибет. [Электронный ресурс] // Russian.people.cn. Русскоязычный ресурс «Жэньминь Жибао» о Китае. 2009. 3 сентября. Режим доступа: <http://russian.people.com.cn/31518/6746817.html>.
2. Алексеева О.И. X Международный симпозиум по проблемам инженерного мерзлотоведения // Криосфера Земли. 2015. Т. XIX. № 1. С. 114–118.
3. Бжуско С.В. Влияние развития железнодорожного транспорта на экономику России и Китая. Автореф. дисс. ... к. э. н. М.: Гос. ун-т управления, 2009. 23 с.
4. Геворкян С.Г. Криолитозона как предмет и территория пограничных конфликтов [Электронный ресурс] // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2013. Т. 3. Вып. 1: Пространство и время границ. Режим доступа: <http://e-almanac.space-time.ru/assets/files/Том%203%20Vip%201/rubr6-estestvennye-granicy-st2-gevorkyan-2013.pdf>.
5. Железнодорожный транспорт Китая [Электронный ресурс] // Livejournal. Журнал ЖЖ. 2012. 29 ноября. Режим доступа: <http://ru-railway.livejournal.com/1816903.html>.
6. Заболотник С.И. X Международная конференция по мерзлотоведению // Наука и техника в Якутии. 2012. № 2 (23). С. 24–29.
7. Зайцева Н.А. X Международная конференция «Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире» // Арктика: экология и экономика. 2012. № 4(8). С. 94–95.
8. Информация о строительных объектах в КНР [Электронный ресурс] // Export.By: портал информационной поддержки экспорта. 2007 20 августа. Режим доступа: http://www.export.by/?act=s_docs&mode=view&id=367&doc=66.
9. Китай готов продлить Цинхай-Тибетскую железную дорогу до границы с Непалом. По материалам Агентства Синьхуа [Электронный ресурс] // Russian.China.org.cn: Китайский информационный Интернет-центр. 2006. 28 августа. Режим доступа: <http://russian.china.org.cn/russian/256520.htm>.
10. Кондратьев В.Г. Цинхай-Тибетская железная дорога – грандиозная попытка решить проблему обеспечения стабильности земляного полотна на вечной мерзлоте // Геотехника. 2011. № 1. С. 4–11.
11. Мирановский А. Китай подбирается к ресурсам Азии [Электронный ресурс] // Правда.Ру. 2012. 23 июля. Режим доступа: <http://www.pravda.ru/economics/rules/globalcooperation/23-07-2012/1122477-china-0/>.
12. Началось строительство железной дороги Лхаса-Линьчжи протяженностью 402 км. По материалам Агентства Синьхуа [Электронный ресурс] // Russian.China.org.cn: Китайский информационный Интернет-центр. 2014. 19 декабря. Режим доступа: http://russian.china.org.cn/business/txt/2014-12/19/content_34364456.htm.
13. Осипов В.И., Еремина О.И., Румянцева Н.А. XII Международный конгресс МАИГ // Геоэкология. 2015. № 2. С. 181–183.
14. Пакистан на велосипеде (май-июнь 2013) [Электронный ресурс] // Форум Винского. 2013. 19 мая. Режим доступа: <http://forum.awd.ru/viewtopic.php?f=729&t=189552&start=20&sid=a30448a3b962402fd639d076a6734b2c>.
15. По Каракорумскому хайвею и не только... в Китай [Электронный ресурс] // Drom.ru. 2014. 12 декабря. Режим доступа: <http://travel.drom.ru/30851/>.
16. Правительство Пакистана, Министерство Коммуникаций, Сабино Сикандар Джалал. План действий по реализации СТСТ 2020 ЦАРЭС. 13-е заседание ККТС ЦАРЭС, 14–15 мая 2014 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.carecprogram.org/uploads/events/2014/TSCC-Meeting-KGZ/Presentation-Materials/Country-Presentations/003_112_209_Pakistan-ru.pdf.
17. Скоростная железнодорожная пассажирская линия Харбин-Цицикар (пров. Хэйлунцзян, Северо-

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

- Восточный Китай) официально будет сдана в эксплуатацию в августе текущего года. По материалам Агентства Синьхуа [Электронный ресурс] // Russian.China.org.cn: Китайский информационный Интернет-центр. 2015. 24 мая. Режим доступа: http://russian.china.org.cn/business/txt/2015-05/24/content_35646342.htm
18. Тун Бойлян, Ли Шуде. Многолетнемерзлые породы плато Цинхай-Сизан (Тибет) и условия их формирования // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 1986. № 1. С. 66 – 78.
 19. Цинхай-Тибетская железная дорога [Электронный ресурс] // Russian.China.org.cn: Китайский информационный Интернет-центр. 2005. 15 июля. Режим доступа: <http://russian.china.org.cn/russian/183419.htm>.
 20. Ян Сюеци. Сквозь вечную мерзлоту [Электронный ресурс] // Китай. 2006. № 8 (август). Режим доступа: http://old.kitairu.info/rus/about_china/magazine/archive/2006/8/104/.
 21. Carreiro H. "Update: Pakistan's Karakoram Highway Blocked by Major Landslide." *Matador Network*. N.p., 16 March 2010. Web. <<http://matadornetwork.com/trips/update-pakistan%E2%80%99s-karakoram-highway-blocked-by-major-landslide/>>.
 22. Chang Xiaoli, Jin Huijun, He Ruixia, Yu Shaopeng. "Thermal Impacts of Forest Vegetation on Frozen Ground in the Da Xiang'anling Mountains in Northeast China." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 650 – 651.
 23. "China to Build Three Railways in Tibet (Xinhua)." *China Daily* 29 June 2006. Web. <http://www.chinadaily.com.cn/china/2006-06/29/content_629113.htm>.
 24. Dai Chang-lei, Wang Ji-liang, Peng Cheng, Lu Ya-jie, Wang Kun, Li Hui-yu. "Analysis and Design of Low-Temperature Phonetic Geothermometer." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, p. 101.
 25. Feng Wenjie, Ma Wei, Zhang Ze, Wen Zhi, Sun Zhizhong, Yu Wenbing. "A Review of the Sunshading (Awning) Method in Embankment Engineering on the Qinghai-Tibet Plateau in China." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: The Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 639 – 640.
 26. Fey Yuan. "Comparison of Long-Term Equivalent Clayey Silt Cohesion by Two Forecasting Equations." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, p. 658.
 27. Frauenfeld O.W., Chen Liang, Zhang Tingjun. "Observational Station-Based Frozen Ground Feedbacks in the Eurasian High Latitudes." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 155 – 156.
 28. Harris S.A., Jin Huijun. "Tessellons and 'Sand Wedges' on the Qinghai-Tibet Plateau and Their Palaeoenvironmental Implications." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25–29, 2012. Volume 1: International Contributions*. Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 149 – 154.
 29. Hui Bing. "Mechanism of Water and Salt Migration in Soil During Cyclic Freeze-Thaw." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 54 – 55.
 30. Hui Guan, Wang Dayan, Ma Wei. "Laboratory Investigation of the Freezing Point of Clay Soils under High Loads." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, p. 202.
 31. Huijun Jin. "International Permafrost Association Country Report 2011. China." *International Permafrost Association: Fostering Permafrost Research to the Ends of the Earth*. International Permafrost Association, 2011. Web. <<http://ipa.arcticportal.org/publications/ipa-country-reports/1574-2011/601-china>>.
 32. Imbery S., Duishonakunov M., King L., Sun Zh.D., Gao Q.Zh. "Spatial Variability of Ground Temperatures and Active Layer Thickness in the Central Tian Shan." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 222 – 223.
 33. Jia G., Zeng H., Epstein H.E. "Decadal Changes of Vegetation Phenology over the Arctic as Detected by Satellites." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 238 – 239.

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

34. Jiang Hua, Shan Wei and Hu Zhaoguang. "Freeway Extension Project Island Permafrost Section Foundation Deformation Characteristics." *Engineering Geology for Society and Territory*. Eds. G. Lollino, A. Manconi, J. Clague, W. Shan, M. Chiarle. Turin: Springer Publisher, 2014, volume 1, pp. 243 – 247.
35. Jin H., Zhao L., Wang S., Jin R. "The Characteristics of Ground Temperatures and the Degradation Styles of Permafrost along the Qinghai-Tibet Highway." *Science in China. Series D* 36 (2006): 1009 – 1019.
36. Jin H.J., Cheng G.D., Zhu Y.L. "Chinese Geocryology at the Turn of the Twentieth Century." *Permafrost and Periglacial Processes* 11.1 (2000): 23 – 33.
37. Jin Huijun, Guo Dongxin, Chang Xiaoli, Cui Zhijiu. "Permafrost Extents in China during the Last Glaciation Maximum (LGM)." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 216 – 217.
38. Li D.Q., Zhou J.Z., Fang J.H., Xu A.H. "Model Hypothesis for the Formation of Ice Lenses in Saturated Freezing Soil." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 316 – 317.
39. Li Guoyu, Ma Wei, Feng Wenjie, Mu Yanhu, Li Xingbai. "Thermal Conductivity and Freezing Temperature of Oil-Contaminated Foundation Soils Surrounding the China-Russia Crude Oil Pipeline." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 1: International Contributions*. Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 227 – 230.
40. Li Jin-ping, Zhang Jin-zhao, Xiao Lou, Dong De-hui. "The Deformation Characteristics in Circumpolar Latitude Permafrost Regions along Mohe-Beicun Highway." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, p. 318.
41. Li Tonglu, Xing Xianli, Li Ping. "The Landslides Induced by the Released Inclusion Water of the Frozen Soil in the Side of the Heifangtai Loess Platform, Gansu Province, China." *Engineering Geology for Society and Territory*. Eds. G. Lollino, A. Manconi, J. Clague, W. Shan, M. Chiarle. Turin: Springer Publisher, 2014, volume 1, pp. 217 – 222.
42. Lin Lin, Jin Hui-jun, Luo Dong-liang. "Analysis of Alpine Vegetation and Its Effect on Active Layer Thermal-Water Process in Frozen Ground in Source Area of Yellow River, China." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 322 – 323.
43. Lin Zhanju, Niu Fujun, Liu Hua, Lu Jiahao, Luo Jing. "Expansion of a Thermokarst Lake in Beiluhe Basin, on Qinghai-Tibetan Plateau." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 324 – 326.
44. Liu Hua, Niu Fujun, Niu Yonghong, Lin Zhanju, Lu Jiahao, Luo Jing. "Experimental and Numerical Investigation on Temperature Characteristics of High-Speed Railway's Embankment in Seasonal Freezing Regions." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 331 – 332.
45. Liu Shiwei, Zhang Jianming, Zhang Hu, Zheng Bo. "Compression Test and Pore-Water Pressure Measurement for Warm and Ice-Rich Frozen Soil." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 1: International Contributions*. Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 237 – 242.
46. Luo Dongliang, Jin Huijun, Lin Lin. "Distribution of Permafrost in the Source Area of the Yellow River on the Northeastern Qinghai-Tibet Plateau, China." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 1: International Contributions*. Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 243-248.
47. Ma Wei, Wang Dayan, Wen Zhi. "Progress in Frozen Soil Mechanics Research in China: A Review." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 1: International Contributions*. Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 249 – 254.
48. Ma Yingzhao, Zhang Yinsheng, Farhan S.B., Guo Yanhong. "Permafrost Soil Water Content Evaluation using High-Frequency Ground-penetrating Radar in Amdo Catchment, the Middle of Tibetan Plateau." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, p. 657.

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

49. Mu Yanhu, Ma Wei, Wu Qingbai, Sun Zhizhong. "Variations of Active Layer Thickness beneath Embankment along the Qinghai-Tibet Railway." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 651 – 652.
50. Niu Fujun, Lin Zhanju, Liu Hua, Lu Jiahao, Liu Zhengping. "Thermal Status of Traditional Roadbed and Roadbed with Slopes Covered by Crushed Rocks along the Qinghai-Tibet Railway." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 1: International Contributions.* Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 289-294.
51. Qi Jilin, Wang Songhe, Yu Fan. "Numerical Estimation for Settlement of Roadway Embankment in Permafrost Regions." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 1: International Contributions.* Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 311 – 316.
52. Qian Jin, Yu Qi-hao, You Yan-hui, Hu Jun, Guo Lei. "The Experimental Study on the Convection Process of Crushed-rock Layer." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 458 – 459.
53. Qin Yinghong, Hiller J.E. "Sensitivity of Thermal Parameters Affecting a Cold-Region Ground Temperature Prediction Model." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, p.656.
54. Qiu Guoqing, Cheng Guodong. "Permafrost in China: Past and Present." *Permafrost and Periglacial Processes* 6.1 (1995): 3 – 14.
55. Ramachandran S. "Nepal to Get China Rail Link." *Asia Times Online. Asia Times*, 15 May 2008. Web. <http://www.atimes.com/atimes/South_Asia/JE15Df01.html>.
56. Ran Youhua, Li Xin, Cheng Guodong, Zhang Tingjun, Wu Qingbai, Jin Huijun, Jin Rui. "Distribution of Permafrost in China: An Overview of Existing Permafrost Maps." *Permafrost and Periglacial Processes* 23.4 (2012): 322 – 333.
57. Ran Youhua, Li Xin, Jin Rui. "Estimation of the Mean Annual Surface Temperature and Surface Frost Number Using the MODIS Land Surface Temperature Products for Mapping Permafrost in China." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 1: International Contributions.* Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 317 – 322.
58. Shan Wei, Hu Zhaoguang, Jiang Hua, Guo Ying, Wang Chunjiao. "Environmental and Engineering Geology of the Bei'an to Heihe Expressway in China with a Focus on Climate Change." *Engineering Geology for Society and Territory.* Eds. G. Lollino, A. Manconi, J. Clague, W. Shan, M. Chiarle. Turin: Springer Publisher, 2014, volume 1, pp. 271 – 279.
59. Shan Wei, Zhaoguang Hu, Ying Guo, Chengcheng Zhang, Chuanjiao Wang, Hua Jiang, Yao Liu and Jitao Xiao. "The Impact of Climate Change on Landslides in Southeastern of High-Latitude Permafrost Regions of China." *Front. Earth Sci.* 24 Feb. 2015/ Web. <<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/feart.2015.00007/full>>.
60. "Sichuan-Tibet Highway." *Dangerousroads: The World's Most Spectacular Roads.* N.p., n.d. Web. <<http://www.dangerousroads.org/asia/china/49-sichuan-tibet-highway-china.html>>.
61. Wang Chunjiao, Shan Wei, Guo Ying, Hu Zhaoguang, Jiang Hua. "Permafrost Distribution Research Based on Remote Sensing Technology in Northwest Section of Lesser Khingan Range in China." *Engineering Geology for Society and Territory.* Eds. G. Lollino, A. Manconi, J. Clague, W. Shan, M. Chiarle. Turin: Springer Publisher, 2014, volume 1, pp. 285 – 290.
62. Wang Dayan, Ma Wei, Zhang Junwei, Guan Hui, Wen Zhi. "Model Experiment Study on Pile Skin Friction during Frozen Soil Thawing Process." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 207 – 208.
63. Wang Jiliang, Zhang ChenXi, Dai Changlei. "Causes and Treatment Measures of the Construction Quality Problems in the Permafrost Region of Mohe." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, p.638.
64. Wang Junfeng, Wu Qingbai. "Effects of Experimental Warming On Alpine Meadow Soil Respiration during the Growing Season on the Qinghai-Tibet Plateau." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.*

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

- Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 245 – 246.
65. Wang Quan, Chen Huie, Ma Wei, Li Shixi, Fang Jingtao, Zhang Hongjing, Hu Zhenzhen. "Pore Structure Change of Seasonal Frozen Soil Caused by Moisture Migration." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 462 – 463.
66. Wei Zhi, Jin Hui-Jun, Zhang Jian-Ming, Yu Shao-Peng, Han Xu-Jun, Ji Yan-Jun, He Rui-Xia, Chang Xiao-Li. "Prediction of Permafrost Changes in Northeastern China under a Changing Climate." *Science China Earth Sciences* 54.6 (2011): 924 – 935.
67. Wen Zhi, Ma Wei, Sheng Yu, Wu Qingbai, Wang Dayan, Feng Wenjie. "Model Test Study of the Impact of Rainfall on Thermal-Moisture Dynamics of the Active Layer." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 1: International Contributions.* Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 443 – 448.
68. Woo Ming-ko. "Application of the Fill-and-Spill Concept in Permafrost Hydrology." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 1: International Contributions.* Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 449 – 454.
69. Wu Qingbai, Cheng Guodong, Ma Wei, Liu Yongzhi. "Railway Construction Techniques Adapting to Climate Warming in Permafrost Regions." *Advances in Climate Change Research* 4 (Suppl.) (2008): 60 – 66.
70. Xiong Xiaozhen, Zhang Tingjun, Maddy E., Zhuang Qianlai, Barnet Chr. "Atmospheric Methane in the High Northern Hemisphere and its Relationship with Permafrost." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 1: International Contributions.* Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 455 – 460.
71. Yang Chengsong, Ping He, Cheng Guodong. "The Effect of Freeze-Thaw Action on the Dry Density and Water Content of Soil." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 1: International Contributions.* Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 467 – 471.
72. Yang Daqing, Janowicz J. R., Kane D.L., Ye Baisheng, Zhang Tingjun. "Linkage Between Frozen Ground Change and Streamflow Regime Over Northern Watersheds." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, p. 104.
73. Yang Sizhong, Jin Huijun. "Isotopic Composition of the Inactive Ice Wedges at Yitulihe in the Da Xing'anling Mountains, Northeastern China." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 551 – 552.
74. Yao Jimin, Gu Lianglei, Zhao Lin, Qiao Yongping, Jiao Keqin. "The Comparison of the Surface Energy Budget between the Permafrost Region and the Seasonally Frozen Ground Region over the Tibetan Plateau." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, p. 240.
75. Yue Z.R., Tai B.W., Sun T.C. "Analysis of Temperature Field Characteristics Based on Subgrade Site Measurements of Harbin-Qiqihar High-Speed Railway in a Deep Seasonal Frozen Soil Region." *Sciences in Cold and Arid Regions* 7.5 (2015): 0547 – 0553.
76. Zhang Qinglong, Li Ning, Mu Yanhu. "Analyses on Thaw Settlement of Conventional Embankments in Warm Permafrost Regions." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 460 – 461.
77. Zhang Tingjun, Wang Qing-Feng, Wu Jichun, Zhong Xinyue, Mu Cuicui, Peng Xiaoqing, Wang Kang, Cao Bin, Wan Xudong, Liu Jia, Wu Qingbai, Cheng Guodong. "Preliminary Investigation on Permafrost Distribution in the Upper Reaches of Heihe River Basin in Western China." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 585 – 586.
78. Zhao L., Jin H., Li C., Cui Z., Chang X., Marchenko S.S., Vandenberghe J., Zhang T., Luo D., Guo D., Liu G., Yi C. "The Extent of Permafrost in China during the Local Last Glacial Maximum (LLGM)." *Boreas* 43 (2014): 688 – 698.
79. Zhao Lin, Cheng Guodong, Ding Yongjian. "Studies on Frozen Ground of China." *J. Geogr. Sci.* 14.4 (2004): 411 – 416.
80. Zhao Lin, Wu Tonghua, Sheng Yu, Qiao Yongping, Xie Changwei. "Monitoring Network and Thermal Dynamics of Permafrost in Western China." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard,*

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 669 – 670.

81. Zhao Shu-ping, Ma Wei, Zheng Jian-feng. "The Damage Evolution Equation of Frozen Lanzhou Loess." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 547 – 548.*
82. Zhou Youwu, Guo Dongxin, Qiu Guoqing, Cheng Guodong, Li Shude. "The Map of Geocryological Regionalization and Classification in China." *Geocryology in China. Beijing: Science Press, 2000. 450 p. (In Chinese).*

Цитирование по ГОСТ Р 7.0.11—2011:

Геворкян, С. Г. Мерзлотоведение Китая в начале XXI века (обзор) [Электронный ресурс] / С.Г. Геворкян // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. — 2015. — Т. 11. — Вып. 1: Система планета Земля — Стационарный сетевой адрес: 2227-9490e-aprov_e-ast11-1.2016.43.

CHINESE GEOCRYOLOGY IN EARLY 21ST CENTURY (REVIEW)

Sergey G. Gevorkyan, Sc.D. (Physics and Mathematics), Senior Researcher at FOUNDAMENTPROJEKT OJSC (Moscow)
E-mail: serghey-g-gevorkyan@j-spacetime.com; Sergev99@yandex.ru

In China, systematic study of permafrost soils began rather late, since 1950s; the first Chinese geocryologists studied in the USSR. So, it is fair to say that Chinese school of the geocryology grew out of the Soviet (Russian) school of the geocryology. Currently Chinese geocryology is developing very actively. Within that short space of time, Chinese geocryologists gain traction. That's why modern state of the geocryology in China is of great interest.

In my article, I represent an overview of Chinese professionals' reports at the 10th International Conference on Permafrost (TICOP-2012, Salekhard, 25—29 June 2012), and at the 12th International Congress of the International Association for Engineering Geology and the Protection of the Geological Environment (Torino, 15—19 Sept. 2014).

Chinese geocryologists' reports at TICOP-2012, and at the 12th International Congress of the IAEG may be divided into five groups: (i) on permafrost distribution in China; (ii) on cryogenic natural processes in the permafrost zone of China; (iii) on mechanics of frozen soils; (iv) on various issues concerning the construction of railroads and highways in permafrost; (v) on new devices and methods in permafrost studying.

My overview shows currently Chinese geocryology have reached a very high level. Among scientific and practical problems Chinese geocryologists have to solve, there are first of all road construction in high-mountain permafrost, such as now famous Karakoram highway and Qinghai-Tibet railway. I analyzed in detail conference reports on thermal behavior of Tibetan plateau permafrost zones and on engineering measures for permafrost protection.

I conclude modern Chinese geocryology is of importance not only in academic and applied engineering (in railway construction) spheres, but also in geopolitics and state-building. Thus, Karakoram highway provides China access to the Indian Ocean. In internal political situation, railway and highway construction on the Tibetan plateau also has far-reaching consequences. It not only abridges distance between Tibet and other China's cities. I prove the direct and inevitable result of transport infrastructure development will be a radical restructuring the economy of Tibet in the very near future. This effect, in turn, would entail a radical and irreversible change for established by centuries the traditional lifestyle of indigenous Tibetans. Political impact of this will be consolidation of the unity, stability and strength of the Chinese commonwealth.

Keywords: permafrost, frozen grounds, cryogenic natural processes, geocryology of China, Karakoram highway, the Qinghai-Tibet railway, highways, railways.

References:

1. Alekseeva O.I. "The 10th International Symposium on Permafrost Engineering." *Cryosphere of the Earth XIX.1* (2015): 114 – 118. (In Russian).
2. "Along the Karakoram Highway, and Not Only... into China." *Drom.ru*. N.p., 12 Dec. 2014. Web. <<http://travel.drom.ru/30851/>>. (In Russian).

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

3. Bzhusko S.V. The Impact of Rail Transport on the Economy of Russia and China. Synopsys of Ph.D. diss. Moscow, 2009. 23 p. (In Russian).
4. Carreiro H. "Update: Pakistan's Karakoram Highway Blocked by Major Landslide." *Matador Network*. N.p., 16 March 2010. Web. <<http://matadornetwork.com/trips/update-pakistan%E2%80%99s-karakoram-highway-blocked-by-major-landslide/>>.
5. Chang Xiaoli, Jin Huijun, He Ruixia, Yu Shaopeng. "Thermal Impacts of Forest Vegetation on Frozen Ground in the Da Xiang'anling Mountains in Northeast China." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 650 – 651.
6. "China Railway Transport." *LiveJournal*. N.p., 29 Nov. 2012. Web. <<http://ru-railway.livejournal.com/1816903.html>>. (In Russian).
7. "China Stands Ready to Extend the Qinghai-Tibet Railway to Nepal Border. Based on Xinhua News Agency's Materials." *Russian.china.org.cn: China Internet Information Center*. China Internet Information Center, 28 Aug. 2006. Web. <<http://russian.china.org.cn/russian/256520.htm>>. (In Russian).
8. "China to Build Three Railways in Tibet (Xinhua)." *China Daily* 29 June 2006. Web. <http://www.chinadaily.com.cn/china/2006-06/29/content_629113.htm>.
9. Dai Chang-lei, Wang Ji-liang, Peng Cheng, Lu Ya-jie, Wang Kun, Li Hui-yu. "Analysis and Design of Low-Temperature Phonetic Geothermometer." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, p. 101.
10. Feng Wenjie, Ma Wei, Zhang Ze, Wen Zhi, Sun Zhizhong, Yu Wenbing. "A Review of the Sunshading (Awning) Method in Embankment Engineering on the Qinghai-Tibet Plateau in China." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: The Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 639 – 640.
11. Fey Yuan. "Comparison of Long-Term Equivalent Clayey Silt Cohesion by Two Forecasting Equations." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, p. 658.
12. Frauenfeld O.W., Chen Liang, Zhang Tingjun. "Observational Station-Based Frozen Ground Feedbacks in the Eurasian High Latitudes." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 155 – 156.
13. Gevorkyan S.G. "Permafrost Zone as a Subject and Area of Frontier Conflicts." *Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time* 3.1 ('Space, Time, and Boundaries') (2013). PDF-file. <<http://e-almanac.space-time.ru/assets/files/Tom%203%20Vip%201/rubr6-estestvennye-granicy-st2-gevorkyan-2013.pdf>>. (In Russian).
14. Government of Pakistan Ministry of Communications, Sabino Sikandar Jalal. "Action Plan on Implementing CAREC TTFS 2020." *13th CAREC TSCC Meeting 14 – 15 May 2014*. PDF-file. <http://www.carecprogram.org/uploads/events/2014/TSCC-Meeting-KGZ/Presentation-Materials/Country-Presentations/003_112_209_Pakistan.pdf>.
15. Harris S.A., Jin Huijun. "Tessellons and 'Sand Wedges' on the Qinghai-Tibet Plateau and Their Palaeoenvironmental Implications." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25–29, 2012. Volume 1: International Contributions*. Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 149 – 154.
16. "High-Speed Railway Passenger Line Harbin-Qiqihar (Heilongjiang, Northeast China) Will Be Officially Put into Operation in August This Year. Based on Xinhua News Agency's Materials." *Russian.china.org.cn: China Internet Information Center*. China Internet Information Center, 24 May 2015. Web. <http://russian.china.org.cn/business/txt/2015-05/24/content_35646342.htm>. (In Russian).
17. Hui Bing. "Mechanism of Water and Salt Migration in Soil During Cyclic Freeze-Thaw." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 54 – 55.
18. Hui Guan, Wang Dayan, Ma Wei. "Laboratory Investigation of the Freezing Point of Clay Soils under High Loads." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, p. 202.
19. Huijun Jin. "International Permafrost Association Country Report 2011. China." *International Permafrost Association: Fostering Permafrost Research to the Ends of the Earth*. International Permafrost Association, 2011. Web. <<http://ipa.arcticportal.org/publications/ipa-country-reports/1574-2011/601-china>>.

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

20. "Information on Construction Projects in China." *Export.By: Web Portal of Information Support for Export*. N.p., 20 Aug. 2007. Web <http://www.export.by/?act=s_docs&mode=view&id=367&doc=66>. (In Russian).
21. Imbery S., Duishonakunov M., King L., Sun Zh.D., Gao Q.Zh. "Spatial Variability of Ground Temperatures and Active Layer Thickness in the Central Tian Shan." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 222 – 223.
22. Jia G., Zeng H., Epstein H.E. "Decadal Changes of Vegetation Phenology over the Arctic as Detected by Satellites." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 238 – 239.
23. Jiang Hua, Shan Wei and Hu Zhaoguang. "Freeway Extension Project Island Permafrost Section Foundation Deformation Characteristics." *Engineering Geology for Society and Territory*. Eds. G. Lollino, A. Manconi, J. Clague, W. Shan, M. Chiarle. Turin: Springer Publisher, 2014, volume 1, pp. 243 – 247.
24. Jin H., Zhao L., Wang S., Jin R. "The Characteristics of Ground Temperatures and the Degradation Styles of Permafrost along the Qinghai-Tibet Highway." *Science in China. Series D* 36 (2006): 1009 – 1019.
25. Jin H.J., Cheng G.D., Zhu Y.L. "Chinese Geocryology at the Turn of the Twentieth Century." *Permafrost and Periglacial Processes* 11.1 (2000): 23 – 33.
26. Jin Huijun, Guo Dongxin, Chang Xiaoli, Cui Zhijiu. "Permafrost Extents in China during the Last Glaciation Maximum (LGM)." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 216 – 217.
27. Kondratiev V.G. "Qinghai-Tibet Railway Is a Grandiose Attempt to Solve the Problem of Ensuring the Stability of the Roadbed on Permafrost." *Geotechnics* 1 (2011): 4 – 11. (In Russian).
28. Li D.Q., Zhou J.Z., Fang J.H., Xu A.H. "Model Hypothesis for the Formation of Ice Lenses in Saturated Freezing Soil." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 316 – 317.
29. Li Guoyu, Ma Wei, Feng Wenjie, Mu Yanhu, Li Xingbai. "Thermal Conductivity and Freezing Temperature of Oil-Contaminated Foundation Soils Surrounding the China-Russia Crude Oil Pipeline." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 1: International Contributions*. Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 227 – 230.
30. Li Jin-ping, Zhang Jin-zhao, Xiao Lou, Dong De-hui. "The Deformation Characteristics in Circumpolar Latitude Permafrost Regions along Mohe-Beicun Highway." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, p. 318.
31. Li Tonglu, Xing Xianli, Li Ping. "The Landslides Induced by the Released Inclusion Water of the Frozen Soil in the Side of the Heifangtai Loess Platform, Gansu Province, China." *Engineering Geology for Society and Territory*. Eds. G. Lollino, A. Manconi, J. Clague, W. Shan, M. Chiarle. Turin: Springer Publisher, 2014, volume 1, pp. 217 – 222.
32. Lin Lin, Jin Hui-jun, Luo Dong-liang. "Analysis of Alpine Vegetation and Its Effect on Active Layer Thermal-Water Process in Frozen Ground in Source Area of Yellow River, China." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 322 – 323.
33. Lin Zhanju, Niu Fujun, Liu Hua, Lu Jiahao, Luo Jing. "Expansion of a Thermokarst Lake in Beiluhe Basin, on Qinghai-Tibetan Plateau." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 324 – 326.
34. Liu Hua, Niu Fujun, Niu Yonghong, Lin Zhanju, Lu Jiahao, Luo Jing. "Experimental and Numerical Investigation on Temperature Characteristics of High-Speed Railway's Embankment in Seasonal Freezing Regions." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 331 – 332.
35. Liu Shiwei, Zhang Jianming, Zhang Hu, Zheng Bo. "Compression Test and Pore-Water Pressure Measurement for Warm and Ice-Rich Frozen Soil." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 1: International Contributions*. Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 237 – 242.

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

36. Luo Dongliang, Jin Huijun, Lin Lin. "Distribution of Permafrost in the Source Area of the Yellow River on the Northeastern Qinghai-Tibet Plateau, China." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 1: International Contributions.* Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 243 – 248.
37. Ma Wei, Wang Dayan, Wen Zhi. "Progress in Frozen Soil Mechanics Research in China: A Review." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 1: International Contributions.* Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 249 – 254.
38. Ma Yingzhao, Zhang Yinsheng, Farhan S.B., Guo Yanhong. "Permafrost Soil Water Content Evaluation using High-Frequency Ground-penetrating Radar in Amdo Catchment, the Middle of Tibetan Plateau." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, p. 657.
39. Miranovsky A. "China Make Overtures to Asian Resources." *Pravda.Ru.* N.p., 23 July 2012. Web. <<http://www.pravda.ru/economics/rules/globalcooperation/23-07-2012/1122477-china-0/>>. (In Russian).
40. Mu Yanhu, Ma Wei, Wu Qingbai, Sun Zhizhong. "Variations of Active Layer Thickness beneath Embankment along the Qinghai-Tibet Railway." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 651 – 652.
41. Niu Fujun, Lin Zhanju, Liu Hua, Lu Jiahao, Liu Zhengping. "Thermal Status of Traditional Roadbed and Roadbed with Slopes Covered by Crushed Rocks along the Qinghai-Tibet Railway." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 1: International Contributions.* Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 289-294.
42. Osipov V.I., Eremina O.I., Rummyantseva N.A. "The 12th IAEG International Congress." *Geocology 2* (2015): 181 – 183. (In Russian).
43. "Pakistan on a Bike (May-June 2013)." *Vinsky's Forum.* N.p., 19 May 2013. Web. <<http://forum.awd.ru/viewtopic.php?f=729&t=189552&start=20&sid=a30448a3b962402fd639d076a6734b2c>>. (In Russian).
44. Qi Jilin, Wang Songhe, Yu Fan. "Numerical Estimation for Settlement of Roadway Embankment in Permafrost Regions." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 1: International Contributions.* Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 311 – 316.
45. Qian Jin, Yu Qi-hao, You Yan-hui, Hu Jun, Guo Lei. "The Experimental Study on the Convection Process of Crushed-rock Layer." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 458 – 459.
46. Qin Yinghong, Hiller J.E. "Sensitivity of Thermal Parameters Affecting a Cold-Region Ground Temperature Prediction Model." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, p.656.
47. "Qinghai-Tibet Railway." *Russian.china.org.cn: China Internet Information Center.* China Internet Information Center, 15 July 2005. Web. <<http://russian.china.org.cn/russian/183419.htm>>. (In Russian).
48. Qiu Guoqing, Cheng Guodong. "Permafrost in China: Past and Present." *Permafrost and Periglacial Processes* 6.1 (1995): 3 – 14.
49. Ramachandran S. "Nepal to Get China Rail Link." *Asia Times Online.* Asia Times, 15 May 2008. Web. <http://www.atimes.com/atimes/South_Asia/JE15Df01.html>.
50. Ran Youhua, Li Xin, Cheng Guodong, Zhang Tingjun, Wu Qingbai, Jin Huijun, Jin Rui. "Distribution of Permafrost in China: An Overview of Existing Permafrost Maps." *Permafrost and Periglacial Processes* 23.4 (2012): 322 – 333.
51. Ran Youhua, Li Xin, Jin Rui. "Estimation of the Mean Annual Surface Temperature and Surface Frost Number Using the MODIS Land Surface Temperature Products for Mapping Permafrost in China." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 1: International Contributions.* Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 317 – 322.
52. Shan Wei, Hu Zhaoguang, Jiang Hua, Guo Ying, Wang Chunjiao. "Environmental and Engineering Geology of the Bei'an to Heihe Expressway in China with a Focus on Climate Change." *Engineering Geology for Society and Territory.* Eds. G. Lollino, A. Manconi, J. Clague, W. Shan, M. Chiarle. Turin: Springer Publisher, 2014, volume 1, pp. 271 – 279.
53. Shan Wei, Zhaoguang Hu, Ying Guo, Chengcheng Zhang, Chuanjiao Wang, Hua Jiang, Yao Liu and Jitao Xiao. "The Impact of Climate Change on Landslides in Southeastern of High-Latitude Permafrost Regions of China."

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

- Front. Earth Sci.* 24 Feb. 2015/ Web. <<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/feart.2015.00007/full>>.
54. "Sichuan-Tibet Highway." *Dangerousroads: The World's Most Spectacular Roads*. N.p., n.d. Web. <<http://www.dangerousroads.org/asia/china/49-sichuan-tibet-highway-china.html>>.
55. "The Construction of Lhasa-Linchzhi Railway of 402 Kilometers in Length Is Started. Based on Xinhua News Agency's Materials." *Russian.china.org.cn: China Internet Information Center*. China Internet Information Center, 19 Dec. 2014. Web. <http://russian.china.org.cn/business/txt/2014-12/19/content_34364456.htm>. (In Russian).
56. Tong Boylyang, Li Shude. "Permafrost of Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau and Conditions of Its Formation." *Moscow University Geology Bulletin* 1 (1986): 66–78. (In Russian).
57. Wang Chunjiao, Shan Wei, Guo Ying, Hu Zhaoguang, Jiang Hua. "Permafrost Distribution Research Based on Remote Sensing Technology in Northwest Section of Lesser Khingan Range in China." *Engineering Geology for Society and Territory*. Eds. G. Lollino, A. Manconi, J. Clague, W. Shan, M. Chiarle. Turin: Springer Publisher, 2014, volume 1, pp. 285–290.
58. Wang Dayan, Ma Wei, Zhang Junwei, Guan Hui, Wen Zhi. "Model Experiment Study on Pile Skin Friction during Frozen Soil Thawing Process." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25–29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 207–208.
59. Wang Jiliang, Zhang ChenXi, Dai Changlei. "Causes and Treatment Measures of the Construction Quality Problems in the Permafrost Region of Mohe." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25–29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, p.638.
60. Wang Junfeng, Wu Qingbai. "Effects of Experimental Warming On Alpine Meadow Soil Respiration during the Growing Season on the Qinghai-Tibet Plateau." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25–29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 245–246.
61. Wang Quan, Chen Huie, Ma Wei, Li Shixi, Fang Jingtao, Zhang Hongjing, Hu Zhenzhen. "Pore Structure Change of Seasonal Frozen Soil Caused by Moisture Migration." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25–29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 462–463.
62. Wei Zhi, Jin Hui-Jun, Zhang Jian-Ming, Yu Shao-Peng, Han Xu-Jun, Ji Yan-Jun, He Rui-Xia, Chang Xiao-Li. "Prediction of Permafrost Changes in Northeastern China under a Changing Climate." *Science China Earth Sciences* 54.6 (2011): 924–935.
63. Wen Zhi, Ma Wei, Sheng Yu, Wu Qingbai, Wang Dayan, Feng Wenjie. "Model Test Study of the Impact of Rainfall on Thermal-Moisture Dynamics of the Active Layer." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25–29, 2012. Volume 1: International Contributions*. Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 443–448.
64. Woo Ming-ko. "Application of the Fill-and-Spill Concept in Permafrost Hydrology." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25–29, 2012. Volume 1: International Contributions*. Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 449–454.
65. Wu Qingbai, Cheng Guodong, Ma Wei, Liu Yongzhi. "Railway Construction Techniques Adapting to Climate Warming in Permafrost Regions." *Advances in Climate Change Research* 4 (Suppl.) (2008): 60–66.
66. Xinhua News Agency. "China's Ministry of Railways denied the report on the beginning of Sichuan-Tibet Railway construction in September." *Russian.people.cn: The Russian-Language Resource of Renmin Ribao about China*. Renmin Ribao, 3 Sept. 2009. Web. <<http://russian.people.com.cn/31518/6746817.html>>. (In Russian).
67. Xiong Xiaozhen, Zhang Tingjun, Maddy E., Zhuang Qianlai, Barnet Chr. "Atmospheric Methane in the High Northern Hemisphere and its Relationship with Permafrost." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25–29, 2012. Volume 1: International Contributions*. Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 455–460.
68. Yang Chengsong, Ping He, Cheng Guodong. "The Effect of Freeze-Thaw Action on the Dry Density and Water Content of Soil." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25–29, 2012. Volume 1: International Contributions*. Salekhard, Russia: Severnoe izdatelstvo Publisher, 2012, pp. 467–471.
69. Yang Daqing, Janowicz J. R., Kane D.L., Ye Baisheng, Zhang Tingjun. "Linkage Between Frozen Ground Change and Streamflow Regime Over Northern Watersheds." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25–29, 2012. Volume 4: Extended Ab-*

ГЕВОРКЯН С.Г. МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ КИТАЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (ОБЗОР)

- stracts. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, p. 104.
70. Yang Sizhong, Jin Huijun. "Isotopic Composition of the Inactive Ice Wedges at Yitulihe in the Da Xing'anling Mountains, Northeastern China." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 551 – 552.
 71. Yang Xueqi. "Through the Permafrost." *China* 8 2006. Web. <http://old.kitairu.info/rus/about_china/magazine/archive/2006/8/104/>. (In Russian).
 72. Yao Jimin, Gu Lianglei, Zhao Lin, Qiao Yongping, Jiao Keqin. "The Comparison of the Surface Energy Budget between the Permafrost Region and the Seasonally Frozen Ground Region over the Tibetan Plateau." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, p. 240.
 73. Yue Z.R., Tai B.W., Sun T.C. "Analysis of Temperature Field Characteristics Based on Subgrade Site Measurements of Harbin-Qiqihar High-Speed Railway in a Deep Seasonal Frozen Soil Region." *Sciences in Cold and Arid Regions* 7.5 (2015): 0547 – 0553.
 74. Zabolotnikov S.I. "The 10th International Conference on Permafrost." *Science and Engineering in Yakutiya* 2 (2012): 24 – 29. (In Russian).
 75. Zaytsev N.A. "The 10th International Conference 'Resources and Risks in Regions with Permafrost in a Changing World'." *Arctic: Ecology and Economy* 4 (2012): 94 – 95. (In Russian).
 76. Zhang Qinglong, Li Ning, Mu Yanhu. "Analyses on Thaw Settlement of Conventional Embankments in Warm Permafrost Regions." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 460 – 461.
 77. Zhang Tingjun, Wang Qing-Feng, Wu Jichun, Zhong Xinyue, Mu Cuicui, Peng Xiaoqing, Wang Kang, Cao Bin, Wan Xudong, Liu Jia, Wu Qingbai, Cheng Guodong. "Preliminary Investigation on Permafrost Distribution in the Upper Reaches of Heihe River Basin in Western China." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 585 – 586.
 78. Zhao L., Jin H., Li C., Cui Z., Chang X., Marchenko S.S., Vandenberghe J., Zhang T., Luo D., Guo D., Liu G., Yi C. "The Extent of Permafrost in China during the Local Last Glacial Maximum (LLGM)." *Boreas* 43 (2014): 688 – 698.
 79. Zhao Lin, Cheng Guodong, Ding Yongjian. "Studies on Frozen Ground of China." *J. Geogr. Sci.* 14.4 (2004): 411 – 416.
 80. Zhao Lin, Wu Tonghua, Sheng Yu, Qiao Yongping, Xie Changwei. "Monitoring Network and Thermal Dynamics of Permafrost in Western China." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 669 – 670.
 81. Zhao Shu-ping, Ma Wei, Zheng Jian-feng. "The Damage Evolution Equation of Frozen Lanzhou Loess." *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost. Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. June 25 – 29, 2012. Volume 4: Extended Abstracts.* Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publisher, 2012, pp. 547 – 548.
 82. Zhou Youwu, Guo Dongxin, Qiu Guoqing, Cheng Guodong, Li Shude. "The Map of Geocryological Regionalization and Classification in China." *Geocryology in China.* Beijing: Science Press, 2000. 450 p. (In Chinese).

Cite MLA 7:

Gevorkyan, S. G. "Chinese Geocryology in Early 21st Century (Review)." *Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time* 11.1 ('The Earth Planet System') (2016). Web. <2227-9490e-aprovr_e-ast11-1.2016.43>. (In Russian).