

Дороги высокогорий Центральной Азии. История строительства и использования



В статье освещены природные условия высокогорий, обуславливающие изменения развития геосистем в соответствии с закономерностью высотной поясности. На примере двух крупнейших транспортных систем высокогорий Земли – автомобильного Каракорумского шоссе и Цинхай-Тибетской железной дороги – показана специфика проектирования, строительства, эксплуатации и мониторинга уникальных объектов. Приведены важнейшие геополитические проблемы транспортной отрасли и ее значение для развития экономики стран региона.

Шац Марк Михайлович

Ведущий научный сотрудник Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН,
к.г.н.
mmshatz@mail.ru

Введение

Транспортные магистрали высокогорий – уникальные строительные объекты, проходящие по территориям с природными условиями по суровости и экстремальности близкими Северу. Здесь тоже очень низкие температуры, широко распространены

многолетнемерзлые породы (ММП). Развита крайне опасная для транспортных конструкции мерзлотные процессы.

Транспортная сеть имеет стратегическое значение для экономического развития любой страны. Она связывает отдельные регионы обширной территории страны, обеспечивает межгосударственные контакты. На всех уровнях власти любой экономически развитой страны сегодня есть понимание необходимости улучшать существующую транспортную инфраструктуру. Именно состояние дорожной отрасли во многом свидетельствует об уровне развития экономики страны. В случае неудовлетворительного состояния дорог неизбежны значительные потери в промышленности, сельском хозяйстве, социальной сфере.

В последние годы, в связи с растущим освоением новых и обширных источников природных ресурсов, все большее внимание во всем мире уделяется труднодоступным территориям. Одной из подобных является высокогорье.

Природные особенности горных территорий

Общеизвестно, что геоэкологические условия формируются в природе в результате сочетания экзогенных и эндогенных факторов. К первым относятся причины, обусловленные влиянием внешних компонентов природной среды, обуславливающих сложное сочетание поступающей к дневной поверхности солнечной энергии и её перераспределение в зависимости от свойств самой поверхности (местоположение, экспозиция, климат, увлажненность, растительный покров, цвет и т.д.).

Эндогенные факторы включают особенности поступления и перераспределения внутриземного потока энергии в зависимости от свойств более глубоких горизонтов горных пород и обуславливают как температурное поле мерзлой толщи, так и её морфологию.

Проблема изучения пространственных закономерностей изменения основных компонентов природной среды является одной из главных в естествознании. Характерные для географической оболочки общие закономерности ее функционирования являются следствием взаимопроникновения и взаимодействия географических сфер (литосферы, атмосферы, гидросферы и т.д.). Знание закономерностей позволяет не только объяснить территориальные особенности отдельных районов Земли, но и подобрать наиболее удобные и благоприятные для различных видов природопользования территории.

К числу пространственных закономерностей развития геосистем относятся широтная зональность и азональность, высотная поясность и меридиональная секторность.

В рамках настоящей статьи в первую очередь нас будет интересовать высотная поясность, представляющая собой последовательную смену природных условий и комплексов в горах снизу вверх.

Поясность обусловлена, прежде всего, сменой климатических показателей (солнечной радиации, температуры воздуха, плотности снега и количества осадков) при увеличении высоты в сочетании с экспозицией и крутизной склонов гор, удаленностью от морей и океанов, широтой местности, положению по отношению к основным несущим влагу воздушным потокам. Высотные пояса при поднятии в горах снизу вверх сменяются в последовательности близкой к смене широтных зон при продвижении от места расположения горного массива на север. Однако имеются и отклонения от данной аналогии. Например, такие высотные пояса, как альпийские луга и высокогорные пустыни среди широтных зон аналогов не имеют.

Все компоненты ландшафтной оболочки в системе высотной поясности развиваются иначе, чем в условиях широтной зональности. Горные страны радикально отличаются от равнинных по гидротермическому режиму грунтов, почвенно-растительному покрову и общим путям эволюции геосистем. Каждая горная страна в зависимости от ее высоты и географического положения обладает своим спектром поясов.

Горные системы находятся на всех континентах Земли, для них характерно общее происхождение и общие морфологические признаки. Образуются они одним из типов гор (складчатым, глыбовым, вулканическим) и внутри своей системы могут иметь горные узлы и горные цепи. Горные системы образовались не только на суше, они есть и в океане. Древние горные системы к настоящему времени сглажены и имеют небольшие высоты, а молодые, относящиеся к альпийской стадии горообразования, продолжают расти. Их формирование сопровождается сильными землетрясениями.

В данной работе мы рассмотрим наиболее масштабные из них – Большие Гималаи. Они являются самой высокой горной системой в мире. Гималайский хребет находится в азиатской части Евразии на территории нескольких государств и занимает площадь 650 тыс. кв. км, начинается от горной системы Гиндукуш на границе Индии и Афганистана и тянется до хребта Данг-Ла в Китае. Средние высоты 5500-6000 м, а на участке между реками Арун и Сатледж образовалось до десятка гор с высотой более 8000 м, а высота перевалов достигает до 6000 м и более.

Высокогорные дороги

Специфика горных дорог заключается в том, что эти магистрали проложены в местностях с большими вертикальными неоднородностями, значительными уклонами в продольном профиле, требующие использования сложных конфигураций малых радиусов, серпантинов и инженерных сооружений, предохраняющими от лавин, оползней, осыпей и т.п.

В данной статье мы рассмотрим состояние транспортной инфраструктуры в самом высокогорном регионе Земли, где сходятся системы Гималаев, Тибета и другие. До середины XX века единственными путями сообщения там были караванные тропы, соединявшие различные гималайские долины-государства друг с другом, а также с южными и западными равнинами, Памиром, Средней Азией, Тибетом и Китаем. Такие тропы продолжают играть заметную роль и сейчас, особенно там, где нет автомобильных дорог, или тогда, когда они непроходимы.

При подготовке раздела по автомобильному транспорту использовалась информация из следующих источников [1,2,4,5,6,11,12].

Строительство колёсных дорог в регионе началось лишь в середине XX века с дороги Шринагар – Каргил – Лех. Долгие годы она оставалась практически единственной. Затем, в 1970-80-е годы, была построена дорога Лех – Кьеланг – Манали, пересекающая Большой Гималайский хребет и проходящая через несколько перевалов высотой более 5000 м. Тогда же были сооружены несколько ответвлений от этой дороги в сторону китайской границы и дороги Каргил – Падум. Все эти дороги открываются лишь на несколько месяцев в году, примерно с середины июня по середину октября, а в остальное время перевалы, через которые они проложены, завалены снегом. В настоящее время активное строительство дорог продолжается в Занскаре.

Основное внимание мы уделим магистральным трассам региона. Это, прежде всего, грандиозное «Каракорумское шоссе», часто именуемое «Восьмым чудом света» (рис. 1). Это выдающееся инженерное сооружение, в очередной раз доказавшее, что нет пределов человеческим возможностям. Всего за 10 лет ценою сотен жизней строители двух стран,

бывших полными противоположностями друг друга, было проделано, казалось бы немислимое – сквозь недоступный прежде край, через высочайшие горы мира, на склонах которых раньше бродили лишь косматые яки, прошло настоящее международное шоссе, поднятое в итоге на рекордную высоту в 4700 метров над уровнем моря. История его создания – гимн ошеломляюще красивой природе, силе человеческого духа, дружбе народов и разумной большой политике.



Рис. 1. Каракорумское шоссе в пределах Аксайчика [2]



Рис. 2. Каракорумское шоссе [2]



Рис. 3. Схема Каракорумского шоссе [4]

В этом регионе сближаются государства Таджикистан, Пакистан, Афганистан и Китай, сходятся три высочайшие горные системы мира: Гималаи, Каракорум и Гиндукуш (рис. 3), а из 14 восьмитысячников нашей планеты пять находятся именно тут. Труднопроходимый рельеф сформировал здесь пеструю демографическую карту с разными народами, которые говорят на непохожих языках и имеют отличные традиции.

Вплоть до второй половины XX века в этой части Пакистана не было нормальных дорог, но в 1947 году он стал независимым государством и потерял путь к своим северным территориям, когда во времена британского правления маршрут пролегал через индийский город Сринагар. Поскольку Индия тоже обрела независимость, пакистанцам срочно пришлось прокладывать другой маршрут и их инженерные войска принялись расширять для внедорожников существующие караванные пути. В 1958 году в долине реки Инд начинают строить первый участок той дороги, которая через 20 лет станет Каракорумским шоссе.

Это сейчас Китай возводит десятки грандиозных транспортных сооружений одновременно, сооружает железную дорогу в Тибет, строит крупнейшие ГЭС и даже поворачивает реки. Во второй половине 1960-х годов «Каракорумское шоссе» было действительно беспрецедентным проектом для обеих стран – предстояло создать трассу длиной в 1300 километров с 23 крупными и 70 мелкими мостами и тоннелями, дорогу, постепенно набирающую километры высоты. И сделать это предстояло в высокогорной малонаселенной, а то и вовсе безлюдной местности, в сложнейших геологических, в том числе мерзлотных условиях, при постоянных угрозах обвалов, землетрясений, лавин, при абсолютно экстремальном климате. Строительную технику порой приходилось разбирать, по частям отправлять через горные хребты, долины, перевалы и реки и вновь собирать на новом участке.

Между Индией и Китаем уже много лет существуют территориальные претензии.

Спорными районами являются небольшая высокогорная пустыня Аксайчин, расположенная на северо-западе Тибетского автономного района КНР, и индийский штат Аруначал-Прадеш, граничащий с Тибетом на юго-востоке, к нашей «дорожной тематике» отношения не имеющий. А вот Аксайчин заслуживает особого внимания.

В 1962 году в Индии внезапно выяснили, что китайцы смогли в полном секрете построить через хр. Аксайчин дорогу, связавшую их западный регион Синьцзян с Тибетом. Для КНР эта дорога носила стратегический характер: она позволяла им усилить контроль над крайне беспокойным Тибетом. Индийцам не то чтобы был нужен Аксайчин – вершина и горный хребет в массиве Кунь-Лунь, соляная безлюдная пустыня, расположенная на высотах до 5 километров, но государственные интересы были превыше всего.

Что же на самом деле представляет эта «территория раздора»?

Аксайчин – район на границе Китая, Пакистана и Индии площадью 42 685 км². Территория управляется Китаем, но оспаривается Индией и является причиной систематических конфликтов.

Исторически Аксайчин был частью Гималайского королевства Ладакх до его захвата Кашмиром в XIX веке, затем вошёл в состав Британской Индии. Дословно переводится с уйгурского языка как «белый овраг Чин» и представляет собой обширную высокогорную соляную пустыню, расположенную на высоте около 5 тыс. метров, географически являющуюся частью Тибетского плато.

Окруженный со всех сторон высочайшими горными системами, район характеризуется особо континентальным климатом с малым количеством осадков и низкими

температурами воздуха в большую часть года. Местных жителей в районе практически нет, как и крупных постоянных поселений.

Одной из причин Индо-китайской войны 1962 года был факт обнаружения Индией построенной Китаем дороги через спорные, согласно линии Макмагона, не признаваемой Китаем, территории. Китайское национальное шоссе №219, соединяющее Тибет и Синьцзян и расположенное в основном выше 4000 м, проходит через крохотный городок Тяньшуйхай в Аксайчине, который приобрёл стратегическую важность для Китая.

Напряженность между Пекином и Дели приблизилась к кульминации после того, как в 1959 году по итогам неудачного восстания в Тибете его духовный лидер Далай-лама бежал в Индию. Пытаясь воспользоваться ситуацией, в 1960 году премьер КНР Чжоу Эньлай предложил индийскому коллеге Джавахарлалу Неру сделку: отказаться от претензий на Северо-восточный пограничный округ в обмен на получение всего плато Аксайчин. В Дели, однако, такой вариант сочли неприемлемым.

Вооруженные стычки между двумя странами начались еще в 1955 году, причем активные переговоры ни к какому положительному результату не привели. До полноценного вооруженного конфликта дело дошло в октябре 1962 года, когда началась Китайско-Индийская пограничная война, продлившаяся месяц. Китайским войскам удалось тогда занять позиции в индийском регионе Ладакх к западу от Аксайчина, а также значительные территории в Северо-восточном пограничном округе. Прекратились военные действия по инициативе Пекина, и в итоге Китай был вынужден отвести войска от линий фактического контроля, однако часть индийских территорий он за собой все же сохранил.

Неожиданным последствием индо-китайского конфликта стало резкое сближение Китая с Пакистаном, который пришел к выводу, что Китай может стать важным союзником в случае войны с Индией, и пошел на сближение.

Со временем наладились и китайско-индийские отношения, поначалу остававшиеся довольно холодными. Однако, несмотря на значительное сближение двух стран, пограничный конфликт между ними так и не был решен до конца.

В 1965 году строительство Каракорумского шоссе прервалось из-за войны с Индией, но уже в следующем году, когда военные инженеры вернулись к работе, план стал намного грандиознее. На первом этапе планировалось построить дорогу, по которой смогли бы ездить грузовики, дотянуть ее до китайской границы и соединить с трассой, идущей с той стороны. В 1971 году эту фазу закончили и летом из Китая поехали первые грузовики с товарами. Тогда же строители приступили ко второй части плана, согласно которому дорогу предполагалось превратить в шоссе. В декабре работы опять пришлось прервать из-за очередной войны с Индией.

После разгромного поражения, с опустевшим государственным бюджетом, продолжать строительство было сложно, поэтому пакистанское правительство обратилось за помощью к Китаю. Большая часть пакистанского участка шоссе построена именно китайскими рабочими: их было около 10 тысяч против шести тысяч пакистанцев, а еще около шести тысяч местных выполняли вспомогательные работы. Благодаря совместному проекту дорога получила свое второе название – «Шоссе китайско-пакистанской дружбы».

Утверждается, что при строительстве погибли около 800 пакистанских рабочих и, по разным данным, от 80 до 200 китайских, в основном из-за оползней и обвалов.

В 1978 году строительство было завершено и Каракорумское шоссе стало частью китайской дороги G314. Оно начинается в городе Кашгар в Синьцзян-Уйгурском автономном районе и тянется на юг через Ташкуртан. Пограничный переход – на Хунжерабском перевале, высота которого – 4693 метра над уровнем моря.

Длина Каракорумского шоссе составляет 1300 км, строительство продолжалось с 1966 по 1986 годы и было настоящим подвигом.

В принципе, в пешем преодолении этих гор не было особых сложностей, ведь через них проходил один из фрагментов «Великого шелкового пути» и с давних пор караваны с китайским шелком, керамикой, нефритом и другими ценностями пересекали высокогорные перевалы Каракорума по дороге в Иран и к побережью Аравийского моря. Однако развитие торговли и международных отношений требовали и развития транспортного сообщения.

Особо следует отметить, что качество строительства, особенно китайских участков на пакистанской стороне, было сомнительным. Спешка при проведении работ, а затем и жестокий горный климат приводили к разрушению полотна трассы. В периоды с конца ноября по начало мая движение по ней закрывалось из-за снежных заносов на перевале Хунджераб, а летом начинался сезон муссонов, но тем не менее она работала, грузовики взбирались мимо ледяных гор (рис. 4) на непостижимую высоту и вновь спускались в речные долины. Прежде недоступные районы двух государств были включены в их транспортные системы.



Рис. 4. Ледники вдоль Каракорумского шоссе [4]

В итоге Каракорумское шоссе стало самой высокогорной международной трассой в мире и «восьмым чудом света», как его иногда называют из-за невероятной красоты местности и такой же невероятной сложности постройки, хотя уникальным в своем роде объектом она не была. В СССР еще до войны был построен Памирский тракт, соединивший киргизский Ош с таджикским Душанбе. Он также проходил по высокогорным районам Памира, в высшей точке пересекая перевал Акбайтал (4655 м). Но все же Каракорумское шоссе было международным, брало рекордную высоту (4693 м) и, в отличие от советского тракта, куда больше походило на настоящее шоссе.

К началу 2010-х Каракорумское шоссе фактически пришло в негодность. Одновременно все больше углублялось сотрудничество Китая и Пакистана, и состояние трассы перестало удовлетворять его уровню. Некогда обе страны придавали ей стратегическое значение, а индийские эксперты изучали спутниковые снимки мостов и пытались определить, проедут ли по ним танки. В XXI веке КНР помирилась с Индией, убавилась и острота индо-пакистанских отношений, но новой движущей силой стала не опасность войны, а экономика.

Периодически движение по шоссе прерывалось сходами очередных оползней и селей (рис. 5).



Рис. 5. Очистка Каракорумского шоссе после оползня 1985 г. [4]

Но в 2010 году произошла ужасная геологическая катастрофа. 4 января 2010 года из-за землетрясения в долине Хунзы, всего в 15 км от Каримабада, сошел гигантский оползень, перекрывший как течение реки, так и идущую вдоль нее трассу. Сток воды прекратился, в результате к июню того же года на месте обвала образовалось озеро Аттабад, затопившее дорогу на протяжении свыше 20 км.

Движение по Каракорумскому шоссе прервалось – теперь грузовикам, прибывающим с одной стороны, приходилось выгружать товар, перегружать его на лодки, а с другой стороны загружать уже в другие грузовики. Страшно неудобно, но что делать – другой дороги между Пакистаном и Китаем не было. Поэтому неудивительно, что столь серьезное неудобство было оперативно устранено путем создания системы туннелей, защищенных от всех геологических опасностей с применением лучших инженерных технологий (рис. 6, 7). Общая длина четырех туннелей здесь – около 5 км, в том числе самый длинный – 3 км.

С точки зрения геополитики, важнейшим следствием этих локальных пограничных споров между тремя государствами стало принципиальное сближение Пакистана и Китая. На первый взгляд у двух этих стран было мало общего – в КНР активно строился коммунизм, завершался «Большой скачок», аграрное общество ценой нескольких десятков миллионов жизней превращалось в индустриальное. Пакистан был капиталистическим, к тому же он состоял в целом ряде региональных военных блоков.

Однако в данном случае вновь сработал принцип «Враг моего врага – мой друг». В Китае и Пакистане перед лицом внешнего соперника – Индии, неожиданно и быстро обнаружили, что, невзирая на любые идеологические разногласия, они прекрасно дополняют друг друга.



Рис. 6. Тоннель на «Каракорумском шоссе» [4]



Рис. 7. Тоннель на «Каракорумском шоссе» [4]

В новом тысячелетии Каракорумское шоссе (рис. 8) снова перестроили: обе страны договорились привести дорогу к китайским стандартам, она стала втрое шире, и теперь пользоваться ей можно даже при экстремальных погодных условиях. Шоссе становится все более популярным туристическим направлением, само по себе превратилось в

достопримечательность, и для многих туристов проехать эту трассу на велосипеде или мотоцикле стало отдельным приключением.



Рис. 8. Современное состояние Каракорумского шоссе [6]

В целом притрассовые территории достаточно цивилизованны, перемещаться по шоссе можно легко на общественном транспорте, хотя его расписание часто оставляет желать лучшего – иногда в нужном направлении идет всего один автобус в день. В таких случаях может выручить автостоп.

В Пакистане дорога совпадает с национальным шоссе N35 и идет мимо городов Каримабад и Гилгит. Пакистанский конец Каракорумского шоссе (в процессе строительства его не раз переносили южнее) находится в городе Хассан-Абдал в 40 километрах на северо-запад от Исламабада. Здесь дорога упирается в национальное шоссе N5, которое частично проходит по Великому колесному пути, другому древнему маршруту – из Кабула через Пешавар, Лахор, Дели и Калькутту в бангладешский Кокс-Базар.

Наряду с трансагистральным Каракорумское шоссе в самом высокогорном регионе Земли созданы еще несколько менее значительных, но заслуживающих внимания дорог.

Новое шоссе длиной 409 км, соединяющее столицу Тибета Лхасу и один из крупнейших городов Тибетского автономного района – Ньингчи (рис. 9), открылось для соединения двух указанных крупнейших туристических достопримечательностей региона и сокращения времени поездки с восьми до пяти часов с ограничением по скорости 80 км/час. Строительство дороги обошлось бюджету в 38 млрд юаней (\$5,8 млрд) и должно позитивно сказаться на туризме в регионе, что особенно актуально во время празднеств.



Рис. 9. Серпантин по трассе Лхаса – Ньингчи [6]

Примечательно, что в Китайской провинции Сычуань, спустя 15 лет с момента начала его проектирования, открылся самый высокий в мире горный автомобильный тоннель, прорезающий гору Чола Тибетского нагорья длиной семь километров (рис. 10).

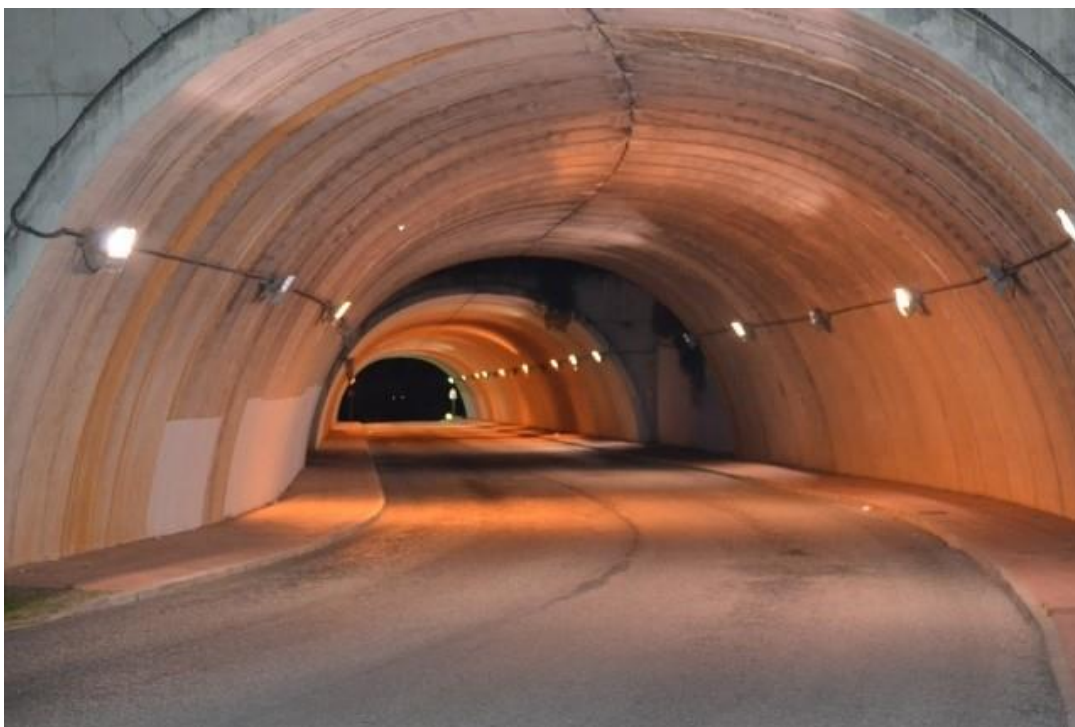


Рис. 10. Самый высокий в мире горный автомобильный тоннель по трассе Лхаса – Ньингчи [6]

По-тибетски название горы Чола означает хребет такой высоты, «...что даже орлы не способны перелететь их...». Самая высокая точка горы достигает 6168 метров над уровнем моря и покрыта снегом восемь месяцев в году. Собственно тоннель расположен на высоте выше 4 км.

Целесообразность его постройки начали изучать еще в 2002 году, разработка проекта заняла восемь лет, и лишь в 2012 году началось строительство. Тоннель с движением в двух направлениях ограничивает скорость транспорта до 40 км/час, в связи с чем сквозное движение занимает порядка 10 минут. Ранее транспортные средства вынуждены были тратить более двух часов для проезда в обход горы по дороге, где был высокий риск снежных бурь, гололедицы и схода оползней.

Вместе с тем, все популярнее в горном регионе становятся железные дороги, и это несмотря на чрезвычайно суровые природные условия и широкое развитие многолетнемерзлых пород.

Железнодорожное сообщение

История создания железных дорог в районах «вечной мерзлоты» насчитывает уже около 120 лет: Забайкальская, Амурская, Аляскинская (рис. 11), Норильская, Гудзонская, Лабрадорская, Байкало-Амурская (БАМ), Амуро-Якутская (АЯМ), Ямальская и другие железные дороги в России, США и Канаде были проложены и успешно эксплуатируются. Строительство каждой из этих дорог – выдающийся этап транспортного строительства и попытка решить проблему обеспечения стабильности пути на участках вечной мерзлоты и глубокого сезонного промерзания грунтов.



Рис. 11. Деформация полотна Аляскинской железной дороги при таянии подземных льдов [3]

За всю вековую историю железнодорожного освоения криолитозоны никому и нигде не удавалось построить объект, который бы не испытывал деформаций вследствие осадок при оттаивании льдистых грунтов или пучения при промерзании влажных дисперсных грунтов

основания. Эти проблемы характерны для всех железных дорог независимо от срока их эксплуатации: для Забайкальской ж.д., находящейся в эксплуатации более ста лет, БАМ и АЯМ – десятки лет, подъездных путей Чара–Чина и Улак–Эльга – несколько лет и недавно построенной Цинхай-Тибетской железной дороги. Так, на Забайкальской железной дороге известен «золотой» километр – участок км 6277 – км 6278 (рис. 12), где систематические деформации земляного полотна и рельсошпальной решетки отмечаются с 1949 г., а постоянное ограничение скорости движения поездов до 40, иногда 15 км/час введено с 1969 г. и где ежегодно по несколько раз приходится проводить ремонт пути.



Рис. 12. «Золотой километр» Транссиба. Фото В.Г. Кондратьева

Тем интереснее новейший этап такого строительства и новая, колоссальная по масштабам и средствам попытка решить указанную проблему путем сооружения в 2000–2006 гг. Цинхай-Тибетской железной дороги в Китае, на участке Голмуд–Лхаса, где вечномёрзлые грунты распространены почти на половине из 1142-километровой трассы. Затем, в 2010–2014 гг., эта дорога была продлена на 251 км из Лхасы до Шигадзе – второго по величине города на Тибете.

Цинхай-Тибетское плато – самая большая высокогорная область вечной мерзлоты в средних широтах, но из-за потепления климата там в последние десятилетия была широко зафиксирована деградация мерзлых толщ горных пород. Для изучения текущего состояния вечной мерзлоты очень важно понять специфику влияния на нее местного восточноазиатского муссонного климата в сочетании с глобальной климатической системой.

Полученные китайскими учеными материалы позволили довольно точно оценить темпы таяния ледников в районе Гималаев и результаты поразили ученых – выяснилось, что за

последние 40 лет темпы таяния ледников в этом регионе удвоились. Если говорить в абсолютных величинах, то, начиная с 2000 года мощность ледников там уменьшается со скоростью примерно полметра в год. «Из этого исследования мы действительно наглядно наблюдаем ясную картину того, как меняются гималайские ледники», – пояснил Джошуа Маурер из Обсерватории Ламонта-Доэрти, США, автор исследования, опубликованного в журнале Science Advances. Именно в США в 1970-80 гг. действовала разведывательная спутниковая программа Hexagon. В рамках этой программы на околоземную орбиту было выведено 20 фотографических спутников видовой разведки КН-9 размером с автобус, для съемок интересующих американских военных частей Земли.

Совокупность новых результатов [7-10, 13-16] показала, что площадь многолетней и сезонной мерзлоты в районе трассы составляет 1,06 миллиона квадратных километров и 1,45 миллиона квадратных километров для всего плато.

Сплошная, прерывистая и островная многолетняя мерзлота составляют соответственно 30,4%, 22,1% и 22,6% от ее общей площади. Ее мощность сильно варьирует в зависимости от рельефа. Максимальные значения зафиксированы в высокогорных районах, где они могут превышать 200 м, при минимальных значениях меньше 60 м на равнинах и в горных долинах.

Средняя глубина деятельного слоя грунтов на плато составляет 2,3 м, а в 80% района многолетнего промерзания колеблется от 0,8 м до 3,5 м. С 1980 по 2015 год температура почвы в интервалах 0-10, 10-40, 40-100, 100-200 см увеличивалась со скоростью 0,439, 0,449, 0,396 и 0,259 °C/10 а, соответственно. С 2004 по 2018 год средняя скорость повышения температуры почвы в нижней части деятельного слоя составила 0,486 °C/10 а. Эти материалы показывают, что деградация ММП постепенно ускоряется, что значительно снижает влажность почвы.

Объем подземного льда оценивается до $1,27 \times 10^4$ км³. Органический углерод почвы в верхних слоях за 2 мес. по всей площади ММП на плато около 17 Пг. При этом в данной оценке существует большая неопределенность из-за большой ландшафтной неоднородности геосистем. Часть их в настоящее время является поглотителем углерода, но вполне вероятно позднее они станут его источником из-за деградации ММП.

В целом, по этим материалам очевидно, что многолетняя мерзлота на плато претерпела значительную деградацию за последние десятилетия, это явно подтверждается повышением температуры грунта. Большая часть ММП на плато относится к категории прерывистых, что свидетельствует об их неустойчивости к потеплению климата.

ММП тесно взаимодействуют с почвенной влагой, выбросами парниковых газов и биосферой, поэтому деградация мерзлых толщ активно влияет на региональную гидрологию, экологию и даже глобальную климатическую систему. Также предлагаются подходы и методы для изучения взаимосвязанных механизмов между ММП и изменением климата, а их результаты могут служить научной основой для защиты окружающей среды, инженерного проектирования и строительства в холодных регионах.

Автору данной публикации эта магистраль особенно интересна, т.к. еще в 1990 г. в составе группы экспертов из Института мерзлотоведения СО РАН (ИМЗ) ему посчастливилось по приглашению китайской стороны принять участие в обследовании вероятного варианта трассы железной дороги. Только позднее стали понятны бесконечные вопросы китайских сопровождающих о нашем мнении по возможности в тех краях построить железную дорогу. Нас о своих планах они тогда не уведомили, но на ее открытие в 2007 г. пригласили, хотя и за свой счет, средств на поездку у нас, разумеется, не было.

Подробности этой интереснейшей поездки достойны и, надеюсь, станут темой отдельной публикации.

Железная дорога Цинхай-Тибет имеет длину 1956 км, строительство ее участка длиной 815 км между Синином и Голмудом было завершено к 1984 году. Участок длиной 1142 км между Голмудом и Лхасой был открыт 1 июля 2006 года. Эта дорога является первой линией, которая соединяет Тибетский автономный район с другими провинциями, а сам Тибет, из-за его высоты и рельефа, является последним регионом провинциального уровня в Китае. Пассажирские составы теперь ходят из Пекина, Чэнду, Чунцина, Гуанчжоу, Шанхая, Синина и Ланьчжоу и могут перевозить от 800 до 1000 пассажиров каждый. Линия включает перевал Танггула, находящийся на высоте 5072 м над уровнем моря. Это самая высокая точка железной дороги в мире. Железнодорожная станция Танггула на высоте 5068 м является самой высокой железнодорожной станцией в мире, а туннель Фэнхуошань длиной 1338 м – самым высоко расположенным железнодорожным туннелем в мире на высоте 4905 м.

Были достигнуты и иные рекорды – новый Guanjiào туннель является самым длинным между Синином и Голмудом (3345 м). Yangbajing тоннель является самым длинным туннелем между Голмудом и Лхасой. Создано 675 мостов общей протяженностью 159,88 км.

Значительная часть железной дороги Цинхай-Тибет (550 км) проложено по территории развития прерывистых участков вечной мерзлоты со средней годовой температурой грунта от 0 до -1 °С. Очевидно, что подобные объекты рассчитаны на многолетнюю эксплуатацию, и чтобы поддерживать их в рабочем состоянии необходимо учитывать климатические изменения в течение следующих 50–100 лет. В этом случае пассивный метод простого увеличения термического сопротивления за счет наращивания высоты насыпи и использования изоляционных материалов оказался неэффективным в условиях нестабильных льдонасыщенных ММП и, следовательно, не мог быть использован применительно к железной дороге Цинхай-Тибет.

Чтобы справиться с такими особо опасными ММП (рис. 13), предварительно был использован ряд упреждающих методов охлаждения дорожного полотна, которые включают контроль солнечного излучения с помощью затеняющих щитов (рис. 14), тепловой конвекции с использованием воздухопроводов, термосифонов и насыпей с воздушным охлаждением (рис. 15-18). Температура пород снижалась благодаря использованию «полупроводниковых» материалов.



Рис. 13. Деформация полотна железной дороги Цинхай-Тибет на начальной стадии создания [8]



Рис. 14. Солнцезащитные сооружения по трассе [8]



Рис. 15. Мостовой переход с применением термосифонов [8]



Рис. 16. Мостовой переход с применением термосифонов [9]



Рис. 17. Термосифоны по трассе [9]



Рис. 18. Пересечение межгорной впадины с применением термосифонов [9]

Рациональное сочетание этих мер усиливает охлаждающий эффект, а также позволяет добиться и других преимуществ. В частности, насыпи с воздушным охлаждением обладают высокой эффективностью, просты в монтаже, экологичны и относительно недороги.

При строительстве магистрали Китай преследовал цель связать провинцию Цинхай с Тибетским автономным районом железнодорожным транспортом (рис.19). Идея появилась еще с начала 1950-х годов, но в то время инженеры и геодезисты занимались в первую очередь изучением финансовой стороны строительства, так как доступных технологий для реализации этой задачи в то время оказалось недостаточно. К 80-м годам создание первой части схемы стало возможным, а быстрый экономический рост Китая позволил начать вторую – и гораздо более сложную – часть проекта, являющегося элементом стратегии развития Запада Китая.



Рис. 19. Карта железной дороги Цинхай-Тибет [10]

Только в начале XXI века страна достигла уровня технологической готовности, позволившей приступить к реализации масштабного инфраструктурного проекта. Более того, возведение железной дороги до Лхасы стало ключевым этапом программы развития Западного Китая, целью которой является ликвидация диспропорции в развитии восточных и западных регионов страны. Еще одной важной, а, возможно, и основной задачей правительства КНР было укрепление связей с основной китайской территорией именно Тибетской автономии, контроль над которой был вновь установлен лишь в 1950 году.

Специальные инженерные задачи

Провозглашенное правительством КНР одним из величайших достижений страны, строительство железной дороги поставило ряд специальных инженерных задач, и для их решения были использованы некоторые современные технологии.

Инженеры подошли к решению описанных выше геоэкологических проблем, построив эстакады и дамбы на некоторых из наиболее сложных участков местности, в то время как в других местах были установлены термосифоны – трубы для циркуляции жидкого азота под полотном, чтобы земля постоянно оставалась замороженной.

Более того, на основании исследований и разведки инженерно-геологических условий и характеристик ММП вдоль Цинхай-Тибетской железной дороги было определено разумное расположение линии и надежные инженерные типы пород, благоприятные для строительства в районах вечной мерзлоты. Результаты исследований пяти различных экспериментально-технических секций, а также на основе систематического обзора исследований и практики в области освоения ММП для Цинхай-Тибетской железной дороги в течение четырех лет была предложена проектная философия «активного охлаждения фундамента и защиты мерзлых грунтов», а также рассчитаны общие размеры дорожного полотна, построены мосты, выемки и туннели для обеспечения устойчивости дорожной системы.

Обеспечение устойчивой и надежной системы сигнализации и связи на таком большом расстоянии и в такой суровой окружающей среде представляло свои собственные проблемы, не в последнюю очередь с точки зрения обеспечения бесперебойного электроснабжения. Чтобы удовлетворить эту потребность, была установлена вспомогательная система солнечного электроснабжения, состоящая из девяти солнечных электростанций общей мощностью 122,4 кВт, а также еще семь станций электроснабжения по длине железной дороги. Самая высотная из них, расположенная на высоте 5100 м, считается первой в мире.

Из-за разреженного воздуха на такой высоте строительство и эксплуатация объекта были затруднены, хотя для персонала были предусмотрены специальные кислородные маски. Существовали проблемы и для пассажиров.

Около 85% железной дороги Цинхай-Тибет расположено в местах, где высота над уровнем моря превышает 4000 метров, среднегодовая температура воздуха ниже нуля, а содержание кислорода в воздухе составляет лишь 50-60 % от этого показателя в низинных районах. Эти места официально отнесены к «запретной для жизни людей зоне» из-за нехватки кислорода, невероятных песчаных бурь, сильного ультрафиолетового излучения и регулярных вспышек инфекционных болезней.

Тепловозы, используемые на линии Голмуд - Лхаса, были произведены по специальному заказу компанией GE в Пенсильвании (США). Несмотря на то, что снаружи вагоны имеют традиционный вид (рис. 20), они специально построены для суровых условий своего маршрута, имеют окна с УФ-фильтром и дополнительную подачу кислорода для каждого пассажира.

Перед посадкой необходимо заполнить медицинскую карточку пассажира, которая требует от путешественников подписать отказ от ответственности за высотные поездки.



Рис. 20. Специально созданный в США ведущий тепловоз [14]

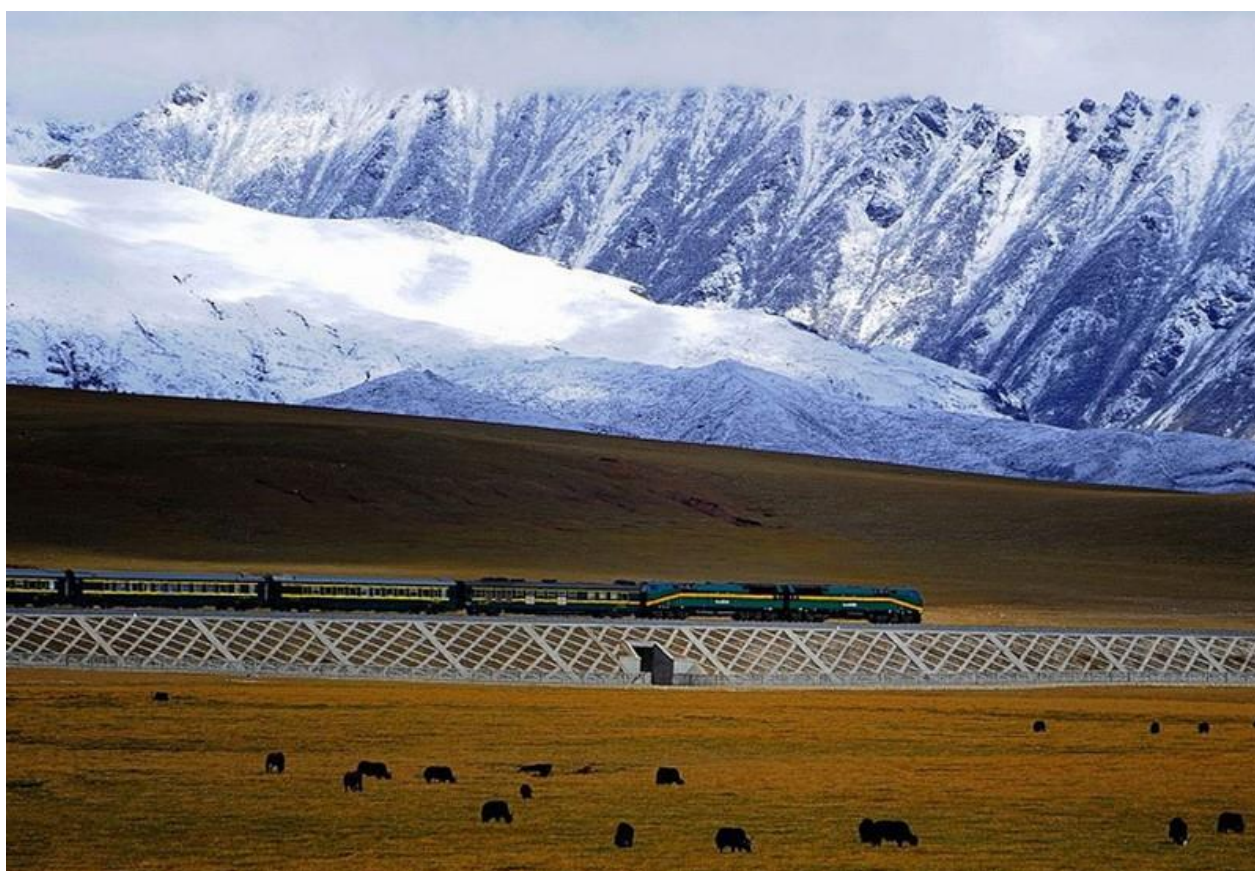


Рис. 21. Инженерное оборудование трассы у подножья горного хребта на высоте 5000 м [14]

Несмотря на эти меры предосторожности, в августе 2006 года было сообщено о первой смерти – 75-летний мужчина, который страдал от проблем с сердцем, но настоял на поездке в Синин. Три месяца спустя женщина умерла, когда рожала одна в туалете поезда. Однако, по данным Министерства железных дорог Китая, именно во время строительства не было погибших по причинам, связанным с высотой, хотя 40 рабочих погибли в других авариях.

Ограниченные промышленные мощности Тибета стали одной из основных сложностей проекта. Поскольку тибетская экономика сильно зависит от импорта из более промышленно развитых регионов Китая, транспортировка товаров в регион и из него является важной проблемой. До строительства железной дороги основным маршрутом было шоссе Цинцзан, построенное в 1950-х годах, которое соединяет Тибет с соседней провинцией Цинхай. Однако расстояния и характер местности оказались серьезными ограничениями для эффективности дороги: ежегодно перевозится менее миллиона тонн грузов.

Новая железная дорога со специально оборудованными насыпями и превосходным состоянием путей (рис. 22) привела к значительному сокращению транспортных расходов и способствует увеличению грузоперевозок. Также в этом районе произошел рост туризма – число гостей давно составляет несколько миллионов человек, стимулируется авиасообщение с некогда изолированным регионом – авиакомпания Хайнань открыла рейс Сиань-Лхаса. Однако проект также вызвал критику, поскольку многие рассматривают его как попытку Пекина усилить свой политический контроль над Тибетом, облегчить китайскую иммиграцию в регион и ускорить растворение тибетской культуры. Некоторые также выразили опасения, что железная дорога позволит увеличить военное присутствие в Тибетском автономном районе и будет способствовать эксплуатации Пекином природных ресурсов Тибета.



Рис. 22 Состояние путей на участке около высокогорного массива [15]

Цинхай-Тибетская железная дорога и экология

Влияние железнодорожного транспорта на местные геосистемы – очень важное направление в экологических науках. Быстрое развитие транспортной инфраструктуры придает все большее значение исследованиям, которые определяют и оценивают связанное с этим загрязнение тяжелыми металлами, влияние сооружений на флору и фауну.

Защита хрупкой высокогорной экосистемы была одной из ключевых задач инженеров. Железная дорога проходит через Хох-Ксил и несколько других национальных природных заповедников, где обитает множество редких животных и растений, в том числе находящаяся под угрозой исчезновения тибетская антилопа. В общей сложности вдоль железной дороги было построено 33 прохода для безопасного перемещения диких животных.

Тибетское плато является источником многих рек и местообитанием для многих видов растений, которых нет больше нигде в мире. Экосистема плато первобытна, своеобразна и хрупка. Перед началом реализации проекта специалисты Государственной администрации по охране окружающей среды (ГУОС), Министерства земель и ресурсов и Министерства путей сообщения провели тщательное исследование экосистемы по всей длине трассы и разработали подробные меры по охране окружающей среды. Один миллиард юаней был выделен на защиту экосистемы в ходе строительных работ.

По данным китайских специалистов, хрупкая экосистема высокогорья принималась во внимание даже на ранних этапах планирования. Проект был составлен таким образом, чтобы избегать мест, которые могут повлиять на окружающую среду заповедников.

Строительные площадки были выбраны и спроектированы таким образом, чтобы не допустить уничтожения растительности. Строительные фирмы подписали «договоры об ответственности» с органами охраны окружающей среды в провинции Цинхай и Тибетском автономном районе, приняв на себя их полномочия.

Как уже было сказано выше, для защиты дикой природы рядом с железной дорогой было построено несколько миграционных переходов для диких животных. По данным спутникового мониторинга в июне 2005 г., группа тибетских антилоп свободно мигрировала сквозь насыпи. Исследования SEPA и других органов власти показывают, что мерзлая почва, растительность, водно-болотные угодья и местные водоемы и водотоки в реках вдоль железной дороги были эффективно защищены, а экосистема плато в целом не пострадала.

На репрезентативном участке вдоль железной дороги Хергай – Делингха в 127 пробах верхнего слоя почвы (глубина 0-10 см) были оценены содержания тяжелых металлов (свинец, кадмий, медь, цинк, хром, никель, кобальт и ванадий).

Результаты анализов показывают, что железнодорожный транспорт оказывает значительное влияние на концентрацию Zn, Cd и Pb и других металлов в почве, причем уровни загрязнения варьируют от отсутствия до значительного загрязнения. Зона поражения распространяется в пределах 20 м от железной дороги. При этом наиболее загрязнена тяжелыми металлами почва в Делингха, а уровень Cd в почве наиболее высок вдоль собственно трассы железной дороги.

Пространственное распределение трех тяжелых металлов (Zn, Cd и Pb) имеет разные характеристики в отдельных типах местности и растительности. Щелочные почвы и ограждения вдоль железной дороги могут снизить воздействие загрязнения почвы на местных жителей и животных.

Иные проекты

Цинхай-Тибетская железная дорога способствует экономическому и социальному развитию провинции Цинхай и Тибетского автономного района и сделала поездки по стране более удобными. Но этим удивительным объектом достижения транспортной отрасли в высокогорном регионе не ограничиваются.

Так, в Гималаях, в соответствии с долгосрочными планами руководства Индии, осуществляется строительство стратегически важной железной дороги, соединяющей города Биласпур и Лех. Пройдя среди гор с юга на север по территории штата Химачал-Прадеш, она пересечет гряду в районе перевала Рохтанг и выйдет на плато в восточной части штата Джамму и Кашмир.

Создание магистрали рассматривается Нью-Дели как ответ на строительство Китаем железнодорожной линии в Тибете в непосредственной близости от границ с Индией. Предполагается, что железная дорога протяженностью около 400 км может обойтись примерно в 50 млрд рупий - около \$1,2 миллиарда. Планируется и осуществляется дальнейшее расширения железнодорожной сети как внутри, так и за пределами Тибета - новой линии, соединяющей Лхасу и Шигадзе, в 280 км к юго-западу, дальнейшие расширения, которые свяжут Шигадзе с Чжанму, Ньинчи с Дали и Шигадзе с Ядонгом и т.д.

Совсем недавно Китаем принято принципиальное решение о начале строительства участка Яань-Линчжи Сычуань-Тибетской железной дороги недалеко от границы с Индией. В то же время протяженность недавно построенного участка Яань-Линчжи составляет 1011 километров и включает 26 станций. Ожидается, что поезда будут ходить со скоростью от 120 до 200 км в час.

Сычуань-Тибетская железная дорога – второй подобный проект в Тибете после Цинхай-Тибетской магистрали, пройдет через юго-восток Цинхай-Тибетского плато, одного из самых геологически активных районов мира. Она возьмет начало в Чэнду, столице провинции Сычуань, пройдет через Яань и войдет в Тибет через Камдо, сокращая путь из Чэнду в Лхасу с 48 до 13 часов.

Сычуань-Тибетская железная дорога также имеет большое значение для защиты национального единства и поддержания стабильности границ. После запуска железной дороги у Тибета возрастет обмен с другими частями материкового Китая, а стратегический тибетский регион будет иметь гораздо большие возможности для транспортировки материалов и материально-технического снабжения.

По мнению экспертов КНР, новая железнодорожная линия позволит Тибету достигнуть уровня других более развитых регионов Китая. И Сычуань, и Тибет богаты ресурсами с их уникальными природными ландшафтами, огромными запасами полезных ископаемых и большим разнообразием лекарственных трав.

При подготовке данного раздела использовалась информация из следующих источников [2,3,7-10,13-18].

Заключение

Руководства стран, к территории которых относятся высочайшие горные системы в мире Гималаи, Тибет и т.д., уделяют особое внимание транспортному обеспечению своей экономики. Модернизируются старые и создаются новые автомобильные и железные дороги, базирующиеся на современных отечественных и зарубежных инженерных технологиях.

Наиболее активизировалась эта деятельность в последнее время. Так, на китайские кредиты и с помощью их же рабочей силы было принципиально реконструировано Каракорумское шоссе. Масштабные работы на всей протяженности дороги привели к тому, что сейчас она действительно является современной трассой с отличным асфальтом, а не однополосной полугрунтовкой с постоянным риском падения в пропасть километровой глубины, как это было ранее. Построены новые мосты, новые тоннели, на ряде участков ширина шоссе увеличена до четырех полос. Уникальный проект получил совершенно новый смысл, но главное даже не в тех дополнительных миллиардах товарооборота, которые принесло обновление трассы.

Каракорумское шоссе стало основной опорной сверхамбициозных планов Пекина по «опоясыванию» Азии сетью транспортных магистралей, призванных объединить Евразию. При этом Каракорумское шоссе остается одной из красивейших дорог мира, позволяющей не только дальнотойщикам, но и обычным туристам, которые не испугаются путешествия по всегда беспокойному Кашмиру, насладиться просто фантастическим зрелищем великих гор, причем сделать это, не выходя из салона автомобиля.

Наряду с Каракорумское шоссе, в самом высокогорном регионе Земли создано несколько менее значительных, но заслуживающих внимания дорог. Так, новое шоссе длиной 409 км, соединяющее столицу Тибета Лхасу и один из крупнейших городов Тибетского автономного района – Ньингчи, открылось для связи двух указанных крупнейших туристических достопримечательностей региона.

Кроме того в китайской провинции Сычуань открылся самый высокий в мире горный автомобильный тоннель, прорезающий гору Чола Тибетского нагорья длиной семь километров.

Но особый интерес представляет уникальная железная дорога Цинхай-Тибет, имеющая длину 1956 км, особенно строительство ее участка длиной 815 км между Синином и Голмудом, значительная часть которого, 550 км, проложено по территории развития прерывистых ММП со средней годовой температурой грунта от 0 до -1 °С.

В настоящее время Пекин фактически контролирует глубоководные порты на пакистанском побережье Аравийского моря, и в такой ситуации кратчайшая дорога между нефтегазовыми монархиями Персидского залива, их полезными ископаемыми и всепоглощающей китайской экономикой лежит через Каракорум и «шоссе дружбы».

КНР щедро инвестирует в инфраструктурные проекты в других странах, но на Пакистан у него планы совершенно иного масштаба. Общая стоимость всех проектов так называемого «Китайско-пакистанского экономического коридора» оценивается в \$62 млрд и основой этой мегасделки продолжают оставаться транспортные магистрали высокогорья – Каракорумское шоссе, железная дорога Цинхай-Тибет и другие.

Список литературы

1. Василий Шикин Odin-poyas-odin-put-v-yuzhnoj-azii-ili-kak-rasxodyatsya-dorogi-kitaya-i-indii/ Электронный ресурс. URL: <http://mirperemen.net/2017/08/odin-poyas-odin-put-v-yuzhnoj-azii-ili-kak-rasxodyatsya-dorogi-kitaya-i-indii/> . Источник: <http://mirperemen.net/2017/08>. Дата обращения: 15.06.2020.
2. Геворкян С.Г. Мерзлотоведение Китая в начале XXI века (обзор) \ \ Науки о Земле и смежные экологические науки. Электронное научное издание Альманах Пространство и Время.2016. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/merzlotovedenie-kitaya-v-nachale-xxi-veka-obzor> Дата обращения: 23.08.2019..

3. Индия намерена провести железную дорогу через Гималаи. Электронный ресурс. URL: <https://iz.ru/news/432382>. Источник: <https://iz.ru>. Дата обращения: 11.12.2020.
4. Каракорумская автомобильная дорога // Военная энциклопедия / П. С. Грачёв. – Москва: Военное издательство, 1995. – Т. 3. – С. 481
5. Каракорумское шоссе Википедия. Электронный ресурс. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. Источник: <https://ru.wikipedia>. Дата обращения: 14.12.2020.
6. Каракорумское шоссе: самая красивая дорога мира. Электронный ресурс.: URL: https://zen.yandex.ru/media/tu_tu_ru/karakorumskoe-shosse-samaia-krasivaia-doroga-mira-5c6d032b6ecf9600c01436aa. Источник: <https://zen.yandex.ru/>. Дата обращения: 20 февраля 2019.
7. Кондратьев В.Г. Изменение геокриологических условий при сооружении и эксплуатации железнодорожного пути и некоторые способы обеспечения его устойчивости на сильнольдистых грунтах // Сб. «Докл. 1 съезда Российских геокриологов». М.: МГУ, 1996. С.57-65.
8. Кондратьев Валентин Георгиевич Цинхай-Тибетская железная дорога: опыт сооружения и проблемы стабильности земляного полотна на вечной мерзлоте Электронный ресурс. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsinhay-tibetskaya-zheleznaya-doroga-opyt-sooruzheniya-i-problemy-stabilnosti-zemlyanogo-polotna-na-vechnoy-merzlote>. Источник: <https://cyberleninka.ru/>. Дата обращения: 12.07.2020.
9. Кондратьев В.Г. Опыт строительства и проблемы стабильности земляного полотна Цинхай-Тибетской железной дороги на участках вечной мерзлоты Электронный ресурс. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-stroitelstva-i-problemy-stabilnosti-zemlyanogo-polotna-tsinhay-tibetskoy-zheleznoy-dorogi-na-uchastkah-vechnoy-merzloty>. Источник: <https://cyberleninka.ru/> Дата обращения: 04.11.2019.
10. Кондратьев В.Г. Стабилизация земляного полотна на вечномерзлых грунтах. Чита: Забтранс, 2011. 249 с.
11. Расширение сети автодорог поставит Тибет на рельсы быстрого развития. Электронный ресурс. URL: http://russian.news.cn/2017-08/29/c_136565445.htm. Источник: <http://russian.news.cn>. Дата обращения: 2017-08-29.
12. Acharya Amitav, Buzan Barry. Non-Western International Relations Theories. Perspectives on and beyond Asia. Routledge, 2010. P. 92-116.
13. Feng W.J., Ma W., Sun Z.Z., Li G.Y., Yu W.B., Zheng J.F. Radiation effect analysis of the awning measure on the embankment slope field test in cold regions. Proc. IX International Symposium on Permafrost Engineering. 3–7 September 2011. Mirny, Russia. С. 319–325.
14. Hua Zhangab, Zhao Feng, Wanga Yili, Zhongjun Huab The effects of the Qinghai–Tibet railway on heavy metals enrichment in soils. Электронный ресурс. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969712012181>. Источник: <https://www.sciencedirect.com>. Дата обращения: 22.12.2020.
15. Kondratiev V.G. The active methods of stabilization of roadbed and contact-line and air line supports on permafrost // Abstracts of Asian Conference on Permafrost. Aug. 7–9. Lanzhou, China, 2006. P. 34.
16. Ming Ming SuGeoffreyWall The Qinghai–Tibet railway and Tibetan tourism: Travelers' perspectives. \ Tourism Management. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261517708001830#!> Volume 30, Issue 5, October 2009, Pages 650-657.
17. Niu Fujin & Shen Yongping. Guide of Field Excursion after Asian Conference on Permafrost. Aug. 10–16. Lanzhou, China, 2006. p. 132

18. Qinghai–From Wikipedia, the free encyclopedia Tibet_railway. Электронный ресурс.
URL:<https://en.wikipedia.org/wiki/Qinghai%E2%80%93> .Источник:
<https://en.wikipedia.org/wiki/> Дата обращения: 21.11.2020