

К вопросу влияния морфологии рельефа на устойчивость железной дороги

Н.Н. Гриб, С.С. Павлов

*Технический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, 678960, Нерюнгри, ул. Кравченко, 16, Россия
e-mail: grib@nfygu.ru*

Аннотация. В 2017 г. завершено строительство Амуро-Якутской железнодорожной магистрали от ст. Бамовская до ст. Нижний Бестях. Строительство продолжалось более 40 лет. Дорога строилась этапами и сдавалась во временную и постоянную эксплуатацию тоже поэтапно. Переход из стадии рабочего движения во временную эксплуатацию дороги занимал от трех до восьми лет. Участок от Томмота до Нижнего Бестяха планируют передать во временную эксплуатацию до 2019 г. Участок Нерюнгри–Томмот до сих пор имеет статус временной эксплуатации. Долгие сроки передачи дороги из временной в постоянную эксплуатацию связаны с стабилизационными процессами в основании и в теле земляной насыпи. Высокая деформативность насыпи связана с многочисленными неблагоприятными инженерно-геологическими процессами, которые развиваются в четвертичных отложениях, по которым проложено более половины всей железнодорожной насыпи. Обеспечение эксплуатационной надежности железнодорожных магистралей, построенных в суровых природноклиматических условиях и на мощных осадочных грунтах, является весьма затруднительным и, возможно, основной причиной передачи дороги в постоянную эксплуатацию.

Ключевые слова: Амуро-Якутская железная дорога, строительство, эксплуатация, осадочные отложения, долины рек, рельеф, ландшафт, физико-географические характеристики, эксплуатационная надежность.

About the Influence of the Relief Morphology on the Railway Stability

N.N. Grib, S.S. Pavlov

*Technical Institute (branch), North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, 16, Kravchenko Str., Neryungri, 678960, Russia
e-mail: pavlov_ss@mail.ru, grib@nfygu.ru*

Abstract. The construction of the Amur-Yakutsk railway from the station Bamovskaya to the station Lower Bestyakh was completed in 2017. The construction lasted more than 40 years. The road was built in stages and commissioned to a temporary and regular operation also by stages. The transition from a stage of a working movement to a temporary operation of the road took from three to eight years. The site from Tommot to Nizhny Bestyakh is planned to be commissioned to a temporary operation until 2019. The Neryungri-Tommot section still has the status of temporary operation. Long terms of the road transfers from a temporary operation to a regular service are connected with stabilization processes at the base and in the earth embankment. High deformability of the embankment is determined by numerous unfavorable engineering and geological processes that occur in the Quaternary sediments, over which more than half of the entire railway embankment is laid. Ensuring operational reliability of railways built in severe natural and climatic conditions and on thick sedimentary soils is very difficult and is probably the main reason for the difficulties of the road's transfer to a regular operation.

Key words: Amur-Yakutsk railway, construction, operation, sedimentary deposits, river valleys, relief, landscape, physical and geographical characteristics, operational reliability.

Введение

При проектировании и строительстве линейных объектов одна из основных задач – это

удовлетворение потребностей, в частности, перевозки пассажиров и грузов с учетом наиболее рационального варианта. Немаловажным фактором, наряду с экономическими показателями или перспективами роста, является обеспечение устойчивости объекта. Устойчивость сооружений зависит от многих факторов, но основными являются геологиче-

ГРИБ Николай Николаевич – д.т.н., проф., акад. АН РС (Я), зам. директора по науке; ПАВЛОВ Сергей Степанович – д.г.-м.н., доцент, директор.

К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ МОРФОЛОГИИ РЕЛЬЕФА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

ские условия, по которым будет проложена будущая дорога.

В инженерно-геологических исследованиях наработан огромный опыт, человечество может строить практически любые сооружения в разных климатических условиях на любых геологических основаниях, обеспечивая нормальные эксплуатационные параметры объекта. В качестве примера можно рассмотреть Амуро-Якутскую железнодорожную магистраль, строительство которой начато в 1975 г. со ст. Сковородино и в 1978 г. доведено до Нерюнгринского угольного разреза. Через 6 лет открыто пассажирское движение до г. Нерюнгри. В 1985 г. продолжено строительство линии Беркакит–Томмот–Якутск, которое завершилось по нормам временной эксплуатации в 2004 г. В ноябре 2011 г. завершилась укладка «золотого звена» на ст. Нижний Бестях. Полное завершение строительства Амуро-Якутской железнодорожной магистрали планируется в 2017 г. Протяженность всей трассы от ст. Сковородино до ст. Нижний Бестях составляет 1239 км и строится этот участок более 40 лет. Пример строительства Амуро-Якутской железнодорожной магистрали необходимо связывать с суровыми природно-климатическими условиями, которое является по праву первым с точки зрения освоения подобным сооружением. Были другие попытки строительства железнодорожных линий в подобных экстремальных условиях, но они на данный момент не эксплуатируются. Долгий период строительства связан с экономическими проблемами в стране, а не с проблемами инженерного характера [2].

дороги со статуса «временной эксплуатации» в «постоянную» связаны с доведением состояния до удовлетворения пра-

Инженерно-геологические условия

С точки зрения примера Амуро-Якутская железнодорожная магистраль нас интересует как инженерный объект, построенный в сложнейших инженерно-геологических условиях, с наличием многолетнемерзлых грунтов, чередующихся магматическими, осадочными и карбонатными породами и многочисленными тектоническими нарушениями. Особо хочется обратить внимание на такие показатели, как передачу дороги из временной эксплуатации в постоянную. Первый участок, ст. Сковородино – ст. Угольная, был передан в течение 6 лет после завершения строительства и начала грузоперевозок, второй, Нерюнгри–Томмот – в 2005 г., хотя строительство закончилось в 1997 г. Надо обратить внимание, что этот участок до сих пор имеет статус «временной эксплуатации». Столь долгие сроки передачи

вилам технической эксплуатации. Вот как раз этот процесс связан, с нашей точки зрения, кроме всего прочего, с инженерно-геологическими условиями. Н.Н. ГРИБ, С.С. ПАВЛОВ отметками 1400–1800 м, сложенный кристаллическими породами архейского возраста, с многочисленными замороженными гольцами. Далее от р. Иенгра железная дорога идет по Алданскому плоскогорью, пред-

Традиционно принято инженерно-геологические условия рассматривать по определённой структуре: стратиграфия, тектоника, магматизм, процессы и т.д. В данной статье предлагается рассмотреть геологию с точки зрения эксплуатационной надежности линейных сооружений, на разных стадиях ввода, со статуса «рабочее движение» до «постоянной». Причины большинства деформаций железных дорог связаны с проявлением инженерно-геологических процессов в полосе строительства, под насыпью или в теле железнодорожного полотна. Как известно, инженерно-геологические процессы связаны с непрочными, дисперсными грунтами, мерзлотой, водой наземной и грунтовой, с процессами гравитационного характера. Это, если не учитывать технологические нарушения во время строительства или эксплуатации, процессы эндогенного характера, а так же процессы, связанные с деятельностью человека. По многолетним наблюдениям следует, что, как правило, инженерно-геологические процессы развиваются в четвертичных осадочных породах, т.е. в рыхлых несвязных грунтах. В скальных грунтах такие процессы не происходят, кроме процессов гравитационного характера.

При рассмотрении технико-экономических показателей основным фактором является экономическая эффективность во время строительства и далее во время эксплуатации объекта, т.е. это определяется всей суммой капитальных вложений в строительство объекта. Практика показывает, и это видно на примере АмуроЯкутской железнодорожной магистрали, наиболее оптимальным, с точки зрения капитальных вложений, направлением при выборе трассы строительства являются долины рек. Это дает относительную прямолинейность трассы как в плане, так и в профиле, что, соответственно, не требует больших затрат на строительство инженерно-технических сооружений.

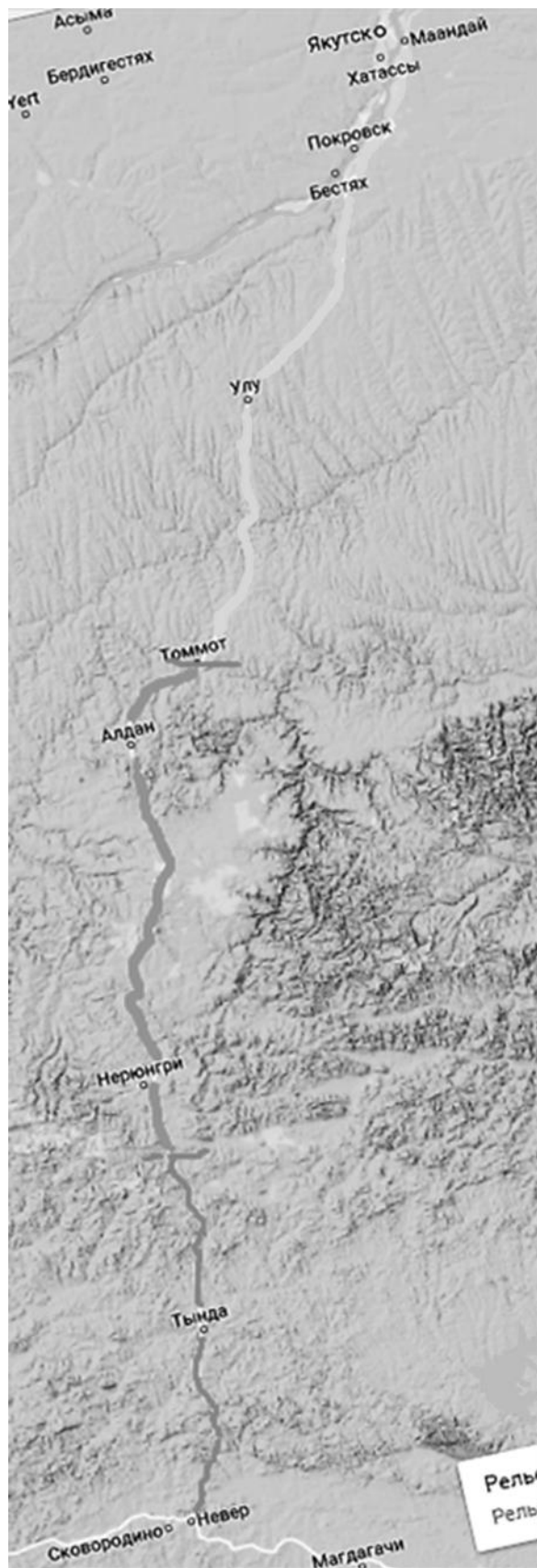
Объекты, обсуждение

Рассмотрим траекторию трассы АмуроЯкутской железнодорожной магистрали, которую можно разбить на три основных участка. С юга первый участок – это север Амурской области и юг Якутии, относится к Становому хребту с

ставленному Чульманской впадине на юге и Алданским нагорьем до пересечения с р. Алдан. Этот участок характеризуется прерывистым распространением вечномёрзлых грунтов с абсолютными высотами от 1000 до 1500 м над ур. моря. Чульманская впадина сложена осадочными грунтами, а Алданское нагорье – кристаллическими породами, преимущественно гнейсами и кристаллическими сланцами. После от р. Алдан до Нижнего Бестяха идет третья территориальная часть – Алдано-Ленская низменность с абсолютными высотами 500–150 м, сложенная карбонатными породами, предельная многолетнемерзлыми породами сплошного распространения мощностью более 100 м (рисунок).

Первый участок – область Станового хребта, относится к бассейнам двух рек: с юга – к р. Амур, а севернее – к бассейну р. Лена. По Амурской области железная дорога проходит по долинам таких рек, как М. Ольдой, Пурикан, Маршигири, Игама, Тында, Гилюй, Могот, Лапри, Хитрушка. Далее дорога переходит границу Якутии и, соответственно, в реки бассейна р. Лена. Здесь дорога проложена по долинам таких рек, как Тимптон, Холодникан, Иенгра и Горбылях. Несмотря на то, что перечисленные реки относятся к разным бассейнам их объединяет Становая горная область. Для этих рек характерно то, что они берут истоки со Станового хребта, с высот от 1600 м над ур. моря и более, большое падение до 700 м, высокая скорость течения, долины широкие. Вершины плоские, в верхней части русло рек меандрирует, пойма заболочена. Долины имеют многочисленные старицы и, как правило, не имеют надпойменных террас. Местами, где дорога переходит из одних долин в другие, так сказать водораздельные участки, основания представлены маревыми отложениями. Данные участки вызывают особый научный интерес, на которые мы обратим свое внимание в следующих исследованиях. Общая протяженность участка Невер – Иенгра составляет около 381 км, из них 248 км (65 %) железная дорога проходит по долинам рек. Около 80 км (21 %) насыпь проложена по водораздельным участкам, которые представляют высокогорные обводненные или заболоченные участки поверхности земли, которые называются «марьями», отличающиеся необратимыми просадочными и другими, весьма неблагоприятными криогенными процессами.

Становая область характеризуется горно-привершинными, плоскогорно-привершинными, горно-склоновыми и горно-долинными местностями. Четвертичные отложения



К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ МОРФОЛОГИИ РЕЛЬЕФА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ
генетически
относятся к элювиальным и элювиально-делю-

Схема Амуро-Якутской железнодорожной магистрали

виальным типам и подстилаются эффузивными и интрузивными коренными породами. Литологический состав четвертичных отложений представлен глыбово-щебнистым материалом с песчаным и песчано-супесчаным заполнителем. Мощность рыхлых отложений колеблется от 1–3 м в верхних частях склонов до 4,5–5 м, реже 10 м – у основания. Северные склоны и врезанные долины, как правило, проморожены.

Второй участок от р. Иенгра до р. Алдан протяженностью более 426 км относится к бассейну р. Алдан. Орографически относится к Алданскому нагорью. Этот участок характерен абсолютными высотами около 1000 м, над которыми возвышаются хребет Западные Янги и Эльконский горст [5]. Гидрология данного района весьма богатая, так как рельеф достаточно расчлененный с многочисленными вершинами и долинами. Железная дорога проходит практически в створах долин рек. Множество рек можно отнести к 2 районам: Нерюнгринскому и Алданскому. Реки Нерюнгринского района относятся к Чульманской впадине и представлены следующими реками, которые пересекает или в долинах которых проложена железнодорожная магистраль: Иенгра, Горбыллях, Беркакит, Аммунакта, Чульман, Локучакит, Шахтинский Ключ, Болотный 1-й, Налымакит, Амутычи, Чульмакан, Налды, Солокит, Мелкий, Хатыми, Улахан Муркугу, Правый Эрге, Эрге, Тит. Протяженность железнодорожной линии составляет 193 км. После р. Тит начинается территория администрации Алданского района протяженностью 231,3 км до р. Алдан. Здесь дорога идет вдоль таких рек, как Урюнг, Ороченка, Васильевка, Николкин Ключ, Керак, Большой Нимныр, Малый Аян, Юхточка, Большой Юктэ, руч. Чесноковый, Кистановский, Таежный, Амурский, рр. Орто Сала, Большой Куранах, руч. Раздольный, Гагарский, рр. Яокит, Хайгалах, Оннюэс и Алдан. Общая протяженность дороги по второму участку 424 км [5].

Участки от р. Иенгра до п. Беркакит проходят по так называемым плоскогорно-привершинным мерзлотным ландшафтам, характеризующимся приводораздельными плоскоравнинными поверхностями плоскогорий с абсолютными высотами около 1000 м над ур. моря. Здесь преобладают маревые участки, пологие промороженные склоны. От Беркакита до Нерюнгри трасса протяженностью 9 км идет по скальным грунтам водораздела. Здесь характерны горносклоновые, горно-долинные, плоскогорновершинные типы местности [3]. Рельеф соответствующий, приводораздельные, выравненные участки, чередующиеся крутыми

склонами горных хребтов. Стратиграфо-генетические

К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ МОРФОЛОГИИ РЕЛЬЕФА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

комплексы представлены элювиальными, делювиальными и коллювиальными породами. Четвертичные отложения подстилаются эффузивными и интрузивными коренными породами. Литологический состав четвертичных отложений представлен песками, супесями с щебнем, суглинками и глыбово-щебнистым материалом, с песчаным и песчано-супесчаным заполнителем. Северные склоны и врезанные долины, как правило, проморожены.

Астраханская область, подстилаемыми карбонатными и терригенными промороженными коренными породами [7].
Мощность плакорных типов местностей, перекрытых элювиальными и эллювиально-делю-

В общей сложности железная дорога по долинам проходит 171 км (40 %), по высокогорным замаренным участкам – 153 км (36 %), и по скальным, устойчивым основаниям – около 102 км (24 %).

Третий участок от р. Алдан до Нижнего Бестяха имеет протяженность 432 км и относится к Лено-Алданской провинции. На этом участке железная дорога проходит в долинах таких рек, как Модут, Амга, Курум-Кюнгкюй, УлаханСала, Кырбыкан, Ачыгый-Кырбыкан, ручей Сытый, Орто-Тала, Кюргелях, Аях-Юрях, Суордах, Сылгылыр, Былык, Ходусолах, Чокурдах, Ойос-Ордох, Лютенге, Кирил, Тарынг, Лютенге, Менда, Улахан-Тарынг, Тамма и Мыла [4]. Здесь необходимо отметить наличие природного памятника, представленного огромной наледью, сформированный за счет питания межмерзлотных вод, поступающим по многочисленным несквозным таликам. Железная дорога отведена от природного памятника, но проходит по аллювиальным отложениям четвертой террасы с мощными подземными льдами. Абсолютные высоты от р. Алдан спускаются с 500 до 150 м в районе речки Мыла. По долинам рек дорога проходит 272 км (62 %), по водоразделам – 36 км (1,5 %), по заболоченным участкам – около 124 км (36 %) [1].

Физико-географические характеристики местности представлены плакорными, склоновыми, приводораздельными, межгаласными низкотеррасовыми и долинными типами. Плакорные и склоновые типы местности представлены элювиальными, эллювиально-делювиальными и коллювиальными четвертичными отложениями, подстилаемыми карбонатными и терригенными породами. Сложенные песками, суглинками, перемешанные щебнем встречаются супеси, как правило, находящиеся в мерзлом состоянии. Приводораздельные, межгаласные низкотеррасовые и долинные типы местности представлены аллювиальными

виальными отложениями, может достигать 5 м. Мощность аллювиальных отложений долинных и мелкодолинных типов местностей может достигать 10–12 м, при этом имеют высокую льдистость до 45 и даже 75% [3,6].

Заключение

Таким образом, Амуро-Якутская железнодорожная магистраль имеет общую протяженность 1239 км, из которых более 690 км проходит по долинам рек, что составляет более 55 %.

218 км (17 %) железная дорога проходит по устойчивым скальным, водораздельным участкам. Остальные 330 км трасса проходит по заболоченным обводненным и замаренным участкам, которые тоже можно отнести к участкам с высокими деформационными процессами.

Обеспечение высокой эксплуатационной надежности в условиях строительства трассы в долинах рек, на поймах или первых, вторых надпойменных террасах, сложенных аллювиальными отложениями мощностью до 20 м и более, где льдистость песчаных отложений может достигать 75 %, очень сложно. Необходимо учесть, что именно в долинах рек развиваются самые неблагоприятные инженерно-геологические и геокриологические процессы, влияющие на состояние верхнего строения пути.

Проектирование трассы в сложных природноклиматических условиях с развитием многочисленных неблагоприятных инженерно-геологических и геокриологических процессов в мощных осадочных (аллювиальных) отложениях, с обязательным обеспечением устойчивости, надежности и экономической эффективности возможно с полным решением противодеформационных мероприятий в период строительства и на

весь период эксплуатации. Практика показывает, что эффективность капитальных вложений при проектировании железных дорог в долинах рек, возможно на сегодняшний день, является, с экономической точки зрения, в период эксплуатации не всегда оправданной.

Литература

1. *Кондратьев В.Г., Позин В.А.* Концепция системы инженерно-геокриологического мониторинга строящегося железнодорожного пути Беркаит–Томмот–Якутск. Чита: Забтранс, 2000.
2. *Мельников А.Е., Павлов С.С.* Отличительные геолого-гидрологические черты территории строительства Амуро-Якутской железнодорожной магистрали (участок Томмот–Кердем–Нижний Бестях) // Вопросы современной науки и практики. 2013. № 4. С. 12–20.
3. *Мерзлотные ландшафты Якутии* (Пояснительная записка к «Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР масштаба 1:2 500 000») / А.Н. Федоров, Т.А. Ботулу, С.П. Варламов и др. Новосибирск: ГУГК, 1989.
4. *Мельников А.Е.* Влияние криогенного выветривания на развитие деформаций железнодорожной насыпи: на примере участка Томмот–Кердем Амуро-Якутской магистрали: Дис. ... к.г.-м.н. Якутск: ИМЗ СО РАН, 2015.
5. *Павлов С.С.* Воздействие криогенного выветривания на устойчивость откосов земляной насыпи Амуро-Якутской железнодорожной магистрали: Дис. ... к.г.-м.н. М.: МГГУ, 2003.
6. *Фотиев С.М.* Подземные воды и мерзлые породы Южно-Якутского угленосного бассейна. М.: Наука, 1965. 230 с.
7. *Южная Якутия* / Коллектив авторов; под ред. В.А. Кудрявцева. М.: МГУ, 1975. 444 с.

Поступила в редакцию 20.07.2017