

# Укрепление скал и склонов в долине Среднего Рейна — важная задача технического и экологического характера

Верхняя часть долины Среднего Рейна представляет собой уникальный историко-ландшафтный район, имеющий большую культурную ценность и с 2002 г. находящийся под защитой ЮНЕСКО. Железная дорога, существующая здесь с 1862 г., является частью этого ландшафта. Она проложена в узком ущелье, глубина которого местами достигает 300 м, и окружена отвесными скалами и скалистыми склонами, причем устройства защиты от обвалов имеют такой же возраст, как и сама дорога. В связи с участвовавшими обвалами и оползнями после зимы 2001/2002 года железными дорогами Германии (DBAG) в целях обеспечения безопасности движения было проведено обследование горных склонов вдоль всей трассы. По результатам этого обследования был составлен всеобъемлющий каталог защитных мероприятий и проведен анализ их эффективности с разных точек зрения: обеспечения безопасности движения, защиты природного и исторического наследия, технических методов реализации и объема затрат.

## Исходная ситуация

Рейнская долина между Майнцем и Кобленцем является уникальной как по своему природному ландшафту, так и по исторической значимости. В связи с этим в 2002 г. этот регион в дополнение к

тому, что он уже внесен в различные списки по охране окружающей среды (как заповедная зона по охране птиц, природы и ландшафта), был также взят под охрану ЮНЕСКО.

Частью культурного наследия в долине Среднего Рейна со второй половины XIX в. является желез-

ная дорога (рис. 1). Естественное вписывание линии в ландшафт долины делает эту жизненно важную транспортную артерию частью общего пейзажа. Железнодорожная линия в ее сегодняшнем виде имеет большое значение как с точки зрения стратегии международных грузовых перевозок, так и с точки зрения регионального сообщения в Рейнской долине, особенно для туристических перевозок. Мероприятия по укреплению скал и склонов являются жизненно необходимыми для дальнейшего существования этой железнодорожной линии.

Трасса была проложена по правому берегу Рейна к 1862 г. Сто лет спустя для повышения пропускной способности линия была модернизирована за счет электрификации. Уже в первые десятилетия ее существования были отдельные случаи сильного обрушения скал (например, в 1912 и 1922 гг.). Бывали также случаи и более мелких обрушений и оползней. Однако, несмотря на это, скалы вдоль железной дороги в основном остаются в своем исходном состоянии. Это относится и к тем местам, где они были затронуты при строительстве железной дороги.

Поводом для проведения работ по обеспечению безопасности послужили участвовавшие обвалы в 2001/2002 году. При этих обвалах большие обломки скальных пород объемом в несколько кубических метров отрывались от скал и падали на железнодорожный путь (рис. 2). Некоторые из них долетали даже до федеральной автомобильной трассы В 42, проходящей параллельно железной доро-



Рис. 1. Междугородный поезд на линии, проходящей по правому берегу Рейна, вблизи Браубаха (фото: DBAG, Вагнер)

ге. В ряде мест оползни достигали рельсов. Причинами учащения обвалов в этот период считается недостаточный снежный покров при сильном морозе зимой и засушливая погода летом.

Кроме того, деревья на крутых склонах скал за последние десятилетия разрослись настолько, что небольшой слой гумуса стал недостаточным для удержания корневой системы, так что падение деревьев при сильном дожде или ветре стало приводить к серьезным последствиям в виде осыпей.

#### *Плановые и дополнительные мероприятия по исследованию горных склонов*

Склоны гор по правому берегу Рейна подвергаются регулярно обследованию специалистами компании DB Netz, входящей в состав холдинга DBAG. Из-за неблагоприятной топографической обстановки, затрудняющей прямой доступ, обследование производится в основном с помощью бинокля, но при необходимости также путем обхода. Обследуемые площади очень велики. На правом берегу Рейна это зона шириной 100 м и протяженностью 30 км, что составляет 300 га крутых горных склонов. Обследуемые участки принадлежат в большинстве случаев частным лицам и коммунам и лишь в отдельных случаях железной дороге.

Из-за участвовавшего обрушения скал железная дорога решила произвести дополнительное обследование горных склонов на участке от Рюдесхайма до Баубаха. Так как обследование было намечено на весенний период 2002 г. до появления листвы, его удалось провести с помощью осмотра с вертолета. С высоты птичьего полета в короткий срок воссоздали общую картину и установили критические зоны. Затем было проведено более детальное обследование тех мест, которые были отнесены к критическим. Всем склонам по правому берегу Рейна в зависимости от их состо-

яния была присвоена соответствующая степень опасности от «незначительной» до «очень высокой».

Облет на вертолете позволил не только визуальное обследовать склоны, но также сделать фотографии, отражающие их состояние. Это позволило определить места проведения будущих работ.

Затраты на такое обследование были гораздо ниже, чем при обычных методах, и в результате была получена более точная картина сложившейся ситуации. Оценка полученных данных продолжалась до конца 2005 г. С одной стороны, это было необходимо для определения мест, представляющих хотя бы минимальную опасность, с другой стороны — для минимизации вмешательства в ландшафт.

#### *Результаты дополнительного обследования*

К осени 2002 г. была определена степень опасности для всех склонов правого берега Рейна. Классификация по степеням опасности производилась на основе обычных параметров, которые принимаются в расчет при оценке риска: возможный размер ущерба и вероятность наступления события.

Размер ущерба определяется размерами обнаруженного в опасном положении обломка скалы и высотой его расположения по отношению к пути. Этими двумя параметрами определяется потенциальная энергия, которая в случае наступления события оказывает большое влияние на размер ущерба.

При определении вероятности наступления события в первую очередь рассматривалось положение источника опасности на склоне и возможный путь его движения к железнодорожному пути. Чем больше вероятность того, что обломки могут задержаться в углублениях или на уступах, тем меньше вероятность возникновения ущерба. Однако определение вероятности того, когда наступит событие, невозможно. К степени опас-



Рис. 2. Обрушившийся обломок скалы у портала тоннеля Лорелей

ности «очень высокая» были отнесены два участка пути. Остальным 29 участкам была присвоена «высокая» степень опасности.

#### *Составление плана мероприятий*

На основе результатов обследования были созданы специальные бюро по планированию мероприятий для склонов, которым была присвоена «очень высокая» степень опасности. Планирование осуществляется с учетом технических и экологических требований, а также требований по сохранению природного ландшафта. Разрешение на проведение строительных работ выдается только в соответствии с утвержденным планом.

В связи с высокой степенью опасности был намечен целый ряд «неотложных» мероприятий. Проведение этих мероприятий необходимо для обеспечения безопасности движения по железной дороге и по расположенной в непосредственной близости от нее федеральной автотрассе.

Планирование этих мероприятий проводится в тесном сотрудничестве с соответствующими компетентными органами, в частности с ведомством по охране окружающей среды и Федеральным бюро железных дорог Германии (ЕВА), которые являются надзирающими органами. Кроме того, к работам были привлечены бюро ЮНЕСКО, земельное ведомство по охране памятников и органы местного самоуправления (администрации соответствующих общин). Было при-



Рис. 3. Окно в защитной сетке для прикорневой зоны дерева

нято решение о том, что эксперты должны продолжать обследование критических мест в уплотненном временном режиме.

При проведении всех мероприятий наряду с техническими и экономическими аспектами большое значение придается сохранению во многих отношениях уникального характера Рейнской долины. Так, все строительные работы проводятся под техническим надзором экспертов по геотехническим вопросам и бюро по природоохранному планированию и изучению вопросов охраны окружающей среды. За счет последовательного согласования технических и экологических аспектов с участием соответствующих ведомств обеспечивается ориентация проекта на сохранение природных и культурных ценностей. В результате этого все проводившиеся до сих пор мероприятия, связанные с вмешательством в окружающую среду, ограничивались только самыми необходимыми операциями. В отношении мероприятий, планируемых на будущее, предусматривается то же самое.

### **Воздействие на растительный и животный мир**

Склоны гор долины Среднего Рейна между Браубахом (Рейнланд-Пфальц) и Лорххаузенем (Гессен)

представляют собой уникальный и очень ценный уголок живой природы, обладающий многообразным растительным и животным миром. Многие виды растений и животных относятся к редким и поэтому охраняются законом. В рамках мероприятий по укреплению склонов гор во многих местах приходится вмешиваться в ландшафт. Чаще всего при этом затрагиваются горные лужайки, кустарники, деревья, а также земли, предназначенные для виноградников и плодовых деревьев. В результате нарушается традиционный пейзаж.

### *Растительный и животный мир*

В горных районах особенно много редких видов животных и растений. Среди особо важных видов редких растений можно назвать, например, такие, как плещетка, различные виды лука, ясенец, касатик, ковыль, живучка. Среди животных и птиц, обитающих в горах рейнской долины, можно назвать такие виды, как сапсан, филин, канюк, соловей, горные ящерицы, ужи, различные виды летучих мышей и др.

Наряду с горными районами важную роль играют также расположенные в основном по краю склона полусухие лужайки, где можно обнаружить большое количество редких видов орхидей, различные виды ятрышника, а также ветреницу высокую. Здесь по соседству со скалами также много изумрудных ящериц и бабочек.

### *Воздействие мероприятий на природный баланс*

Мероприятиями по обеспечению безопасности склонов затрагиваются в первую очередь горные массивы, вплотную прилегающие к железнодорожному пути. Чаще всего их обтягивают защитной сеткой. Перед этим срезают имеющуюся растительность и удаляют расшатавшиеся обломки горной породы. По мере необходимости

устанавливают защитные ограждения. Для этого делаются по возможности наименьшие по ширине рабочие просеки в имеющейся растительности. По опыту уже проведенных мероприятий можно сказать, что удаленная растительность под защитными сетками и вокруг защитных ограждений восстанавливается очень быстро. В то же время существует опасность того, что ползучие вьющиеся растения будут использовать защитную сетку в качестве опоры и постепенно чрезмерно разрастутся по скалам. Образующееся в результате этого затенение будет отрицательно воздействовать на светолюбивые растения. В связи с этим предусмотрены регулярные меры по предохранению защитных сеток от зарастания ползучей растительностью. Такими мерами являются замена грунта и механическое удаление растений при инспектировании сеток.

### *Воздействие мероприятий на природный ландшафт и экологический надзор при их реализации*

Мероприятиями по обеспечению безопасности горных склонов оказывается отрицательное воздействие не только на среду обитания растений и животных, но также и на существующий ландшафт. Защитные сетки и ограждения воспринимаются наблюдателем в общей картине ландшафта как нечто чужеродное и мешающее. Сведение к минимуму отрицательных воздействий на ландшафт с учетом значимости этой охраняемой зоны является важнейшей задачей.

В результате сотрудничества специалистов по геотехнике и охране природного ландшафта с помощью специальных мероприятий с самого начала удается ограничивать вмешательство в среду обитания растений и животных, а также в существующий природный ландшафт (рис. 3). Все строительные работы сопровождаются тща-

тельно организованным экологическим контролем.

Так, во многих местах (например, с одиноко растущими деревьями, в зонах гнездования птиц, ущельях и пещерах) отказались от установок защитных сеток и вместо них установили защитные ограждения. Торкретирование было преимущественно заменено скальными костылями. Удаление отделившихся скальных пород было ограничено до необходимого минимума, чтобы сохранялся почвенный слой с укorenившимися в нем растениями.

#### *Мероприятия по компенсации нанесенного ущерба*

С апреля 2003 г. на всей территории, охваченной рассматриваемым проектом, проводились широкомасштабные картографические работы с целью установления нарушений фауны и флоры, а также для изучения видов растений, птиц и животных, обитающих в этих местах. Данные, полученные при проведении картографических работ, служат основой для анализа последствий вмешательства в живую природу и ландшафт в результате проведения защитных мероприятий. В зависимости от вида и объема наносимого ущерба защитные мероприятия сопровождаются соответствующими мерами по компенсации этого ущерба. Так, вырождающиеся с природоохранной точки зрения биотопы (такие, как силь-

но заросшие кустарником полусухие луга) могут быть снова восстановлены с помощью соответствующих мероприятий (в данном примере путем удаления кустарника) и станут новой средой обитания для животных, птиц и растений.

#### **Техническая реализация проекта**

##### *Описание исходной ситуации*

Рейнская долина врезается на глубину от 100 до 300 м в плоское рье. На правом берегу Рейна живописно чередуются крутые скалы с более пологими склонами. Пологие склоны гор использовались раньше под виноградники и фруктовые сады. Для этого на склонах были устроены террасы с помощью сухих каменных кладок. Однако в течение последних десятилетий многие сады и виноградники больше не используются. Террасы и подпорные стенки покрылись густой мелкой порослью и кустарником, которые мешают установке и устранению повреждений подпорных стенок. Рыхлые почвы находятся в состоянии медленного оползания (процесс солифлюкции), что подтверждается особенностями развития растений в этих зонах. Механизмы этого процесса, и прежде всего глубина его распространения, до сих пор еще не изучены.

Сильно испещренные трещинами и испытывающие большую

тектоническую нагрузку скалы имеют крутизну склонов до 80 град. и при этом в некоторых местах отдельные их части сильно выступают. Были обнаружены трещины шириной до 10 см, а местами и больше. Расставшиеся части скал, а также рыхлая почва находятся в состоянии неустойчивого равновесия. Даже самое незначительное воздействие приводит к их отрыву. Во многих случаях отсутствуют достаточные преграды для удержания обломков, в результате осыпающиеся массы, состоящие из глыб, иногда имеющих размеры до трех кубометров, достигают железнодорожного пути.

#### *Необходимые меры по обеспечению безопасности*

Такой мерой является, прежде всего, установка защитных сеток на крутых склонах скал, расположенных в непосредственной близости от железной дороги, которые дополняются в некоторых местах установкой защитных барьеров (рис. 4).

В местах, где над сетками имеются опасно расположенные скопления мелких горных пород, сетки устанавливаются на высоте до 2 м над поверхностью скалы. В результате образуются своеобразные карманы, способные удержать эти массы в случае обвала.

В местах более пологих склонов у подножия устанавливаются защитные ограждения (естественно, за



Рис. 4. Сетчатый улавливающий барьер



Рис. 5. Склон с виноградниками и кустарником, требующий переустройства для улучшения состояния флоры и фауны

пределами габарита приближения строений) примерно на высоте 8 м над УГР рельса, расположенного со стороны скал. В зависимости от местных условий ограждения устанавливаются секциями длиной от 25 до 60 м. Высота ограждений может при этом достигать 7,5 м. Необходимые размеры определяют с помощью компьютерного моделирования камнепада. В некоторых случаях необходимы дополнительные меры безопасности, такие, как пломбирование с помощью торкретбетона, скрепление с помощью костылей или закрепление отдельных фрагментов скалы.

В качестве альтернативного варианта вместо установки защитных сеток и ограждений пытались использовать такой метод, как очищение всего склона от опасных с точки зрения обвала масс. Однако из-за очень большой массы камня и значительных затрагиваемых площадей этот вариант был отвергнут как по экономическим, так и по экологическим причинам. Другим вариантом обеспечения безопасности железной дороги было строительство защитных галерей. С помощью этого метода обеспечивалась бы безопасность эксплуатации линии, однако осыпи горных пород угрожали бы безопасности расположенной поблизости федеральной автотрассы. К тому же галереи неприемлемы с точки зрения сохранения природного ландшафта из-за своей монументальной конструкции высотой около 8 м над уровнем железной дороги. По этим причинам данный вариант также был отклонен.

#### *Меры по обеспечению безопасности и ландшафта*

Для сохранения ландшафта, флоры и фауны вмешательство в окружающую природу требовалось свести к необходимому минимуму. При сотрудничестве с соответствующими организациями были разработаны различные мероприятия по ограничению или предотвраще-

нию вредных последствий при проведении работ:

- там, где это возможно, устанавливают защитные ограждения вместо сеток, так как ограждения занимают меньшую площадь соответствующего биотопа;
- защитные сетки устанавливаются на скалу с плотным прилеганием, чтобы они меньше затеняли ее поверхность, что необходимо для более быстрого прорастания трав. Кроме того, при такой установке меньше бросается в глаза сама сетка. Менее заметной делает сетку и то, что материал, из которого она изготавливается, имеет покрытие из окиси алюминия, на котором довольно быстро образуется пагина;
- необходимый для установки сетки стальной крепеж монтируется без дополнительной обработки, т. е. без оцинковки и покраски. То же самое относится и к стойкам защитного ограждения, которые устанавливаются без всякого покрытия;
- удаление растительности ограничивается до необходимого минимума (рис. 5). Так, срезание кустарниковой поросли производится на такой высоте, чтобы новые побеги лучше развивались в следующий вегетационный период;
- для сохранения мест гнездования горных птиц, а также для сохранения особо ценных пород деревьев и других растений в сетках делаются соответствующие окна;
- вдоль защитного ограждения со стороны Рейна по возможности должна оставаться полоса растительности, которая после разрастания делает ограждение менее заметным;
- грозящие разрушением подпорные стенки должны обтягиваться, где это возможно, защитной сеткой для сохранения их архитектурного колорита и функции в качестве среды обитания мелких животных;
- в особо опасных местах нависания скал необходимы дополнительные меры безопасности с использованием торкретбетона. Во всех местах, где достаточная устойчи-

вость может быть получена, например, путем увеличения количества скрепляющих костылей и (или) путем дополнительного опоясывания соответствующей части скалы тросами, по экологическим и эстетическим соображениям от применения торкретбетона следует воздерживаться.

Следует также напомнить, что вмешательство в водный баланс горных склонов недопустимо, в связи с чем запрещается устройство дренажей, выравнивание поверхностей, использование инъекций.

#### **Объем мероприятий**

Общая концепция по обеспечению безопасности железнодорожного движения на правом берегу Рейна приобрела осязаемые объемы после статистической обработки данных обследования, проведенного в 2002 г. На железнодорожной линии протяженностью 45 км было намечено к реализации 29 проектов. При этом должно быть установлено 8500 м защитных ограждений, закреплено 42 тыс. м<sup>2</sup> защитной сетки, сооружено 15 дополнительных устройств безопасности для отдельных объектов, построено 20 м стенок из сетчатых каркасов, заполненных камнем, и 30 м защитных барьеров из особо прочной панцирной сетки, монтируемой на тросах. Сроки проведения отдельных строительных мероприятий составляют 4 – 6 мес. Мероприятия по компенсации нанесенного ущерба рассчитаны на 3 года восстановительных работ и 30 лет последующего ухода.

Общая сумма инвестиций составляет 52 млн. евро, причем значительная часть этой суммы предназначена для компенсационных мероприятий. Работы по обеспечению безопасности движения должны быть закончены до 2010 г.

*J. Waldecker, G. Thiemann.  
Eisenbahntechnische Rundschau, 2005, № 10,  
S. 587 – 594.*