

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 625.731.3

ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОСИСТЕМ МОРСКИХ ТЕРРАС

© 2021 г. С. В. Рыбальченко^{1,*}, А. С. Оганезов^{2,**}

¹ ФГБУН Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН,
ул. Максима Горького, 25, г. Южно-Сахалинск, 693000 Россия

² ФГБОУ ВУ Сахалинский государственный университет,
пр. Коммунистический, 33, г. Южно-Сахалинск, 693000 Россия

*E-mail: rybalchenko_sv@mail.ru

**E-mail: artusur@mail.ru

Поступила в редакцию 23.12.2020 г.

После доработки 29.03.2021 г.

Принята к публикации 12.04.2021 г.

Рассмотрено антропогенное воздействие на компоненты геосистемы морских террас (преобразование рельефа местности, сведение растительности, воздействие на гидрологический, гидрогеологический режим территории и т.д.) при строительстве автомобильных дорог. Наибольшую угрозу для конструктивной целостности автомобильных дорог на морских террасах представляют опасные экзогенные геодинамические процессы (сели, оползни, эрозия), активизация которых происходит вследствие антропогенного воздействия. Значительную роль в данном процессе играют ошибки на стадии изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации транспортных магистралей в части организации системы водоотведения. Среди дефектов систем водоотведения выделено две группы: отсутствие систем водоотведения и конструктивные дефекты водосборных и водосбросных сооружений. На основе регулярных полевых наблюдений за динамикой опасных экзогенных процессов на морских террасах и анализа фоновых данных установлено влияние дефектов систем водоотведения на компоненты геосистем морских террас и обратный негативный эффект, представляющий угрозу конструктивной целостности автомобильных дорог.

Ключевые слова: дефекты водоотведения, опасные экзогенные процессы, морская терраса, антропогенное воздействие, геосистема морских террас, компоненты геосистемы

DOI: 10.31857/S0869780921040093

ВВЕДЕНИЕ

Урбанизированные территории морских побережий зачастую представляются наиболее удобными участками для трассировки транспортных магистралей, поскольку позволяют сократить капитальные вложения на стадии строительства и создать развитую инфраструктуру в прибрежной зоне [15]. Стоит отметить, что в связи с целым рядом особенностей территорий морских побережий и активным развитием опасных экзогенных процессов (селей, оползней, эрозии, паводков и др.) эксплуатационные характеристики транспортных магистралей могут существенно снижаться, и возникает угроза их конструктивной целостности и безопасности дорожного движения.

В случае повреждения или разрушения покрытия и земляного полотна, многочасовое отсутствие транспортного сообщения может привести к возникновению различных чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС) локального характера или

крупного ЧС регионального масштаба. Так в июне 2017 г. в Магаданской области был введен режим ЧС в связи с разрушением автодороги по ул. Портовая. Данная транспортная магистраль соединяет г. Магадан с Магаданским морским торговым портом, через который осуществляется до 90% всего грузооборота области. Опасные экзогенные процессы активизировались на небольшом участке автодороги еще в 2013 г. [16]. Из-за отсутствия превентивных мер по организации водоотведения, берегоукреплению и укреплению склона морской террасы развитие склоновых селей и эрозии на участке автодороги протяженностью 300 м привело к возникновению ЧС регионального масштаба. Стоимость реконструкции подобных аварийных участков автомобильных дорог может в 5–10 раз превышать стоимость строительства новой автодороги, в том числе с инженерной защитой территории.

При реализации проектов по строительству автомобильных дорог данный линейный объект и

его конструктивные элементы рассматриваются как комплекс инженерных сооружений, расположенных в границах полосы отвода с определенными природными условиями. Фактически полоса отвода объекта приурочена к отдельным геоморфологическим единицам (например, морская терраса, долина реки, горный склон и т.д.), размеры которых значительно превышают площадь застройки, отведенной под объект. Геоморфологические единицы представляют собой локальные геосистемы, включающие в себя различные компоненты, прямые и обратные связи между ними и процессы обмена веществом и энергией.

Морские террасы, как и все локальные геосистемы являются открытыми системами, которые значительно подвержены внешним воздействиям, что приводит к их активному развитию. Строительство автомобильных дорог на морских террасах оказывает существенное антропогенное воздействие на компоненты геосистемы морских террас в ходе преобразования рельефа местности, сведения растительности, воздействия на гидрологический, гидрогеологический режим территории и т.д.

Серьезную угрозу для автомобильных дорог на морских террасах представляют денудационные, эрозионные, реологические и селевые процессы в теле земляного полотна или в непосредственной близости от него. Активизация опасных водно-гравитационных и флювиальных процессов происходит в связи с изменением гидрологического режима территории при строительстве автомобильных дорог. Решающую роль в изменении естественного равновесия гидрологического режима территории зачастую играют дефекты систем водоотведения автомобильных дорог. К сожалению, данное негативное воздействие имеет пролонгированный эффект и может быть выявлено только в процессе эксплуатации в течение нескольких лет.

Цель данного исследования — оценка влияния дефектов систем водоотведения автомобильных дорог на изменение геосистем морских террас, представляющее угрозу конструктивной целостности автомобильных дорог и безопасности дорожного движения.

Для оценки влияния дефектов систем водоотведения необходимо определить особенности геосистем морских террас, влияющие на конструктивную целостность автомобильных дорог, систематизировать дефекты водоотведения автомобильных дорог, установить причину их возникновения и механизм воздействия на компоненты геосистем, оценить развитие геосистем морских террас при данном антропогенном воздействии и вероятный обратный негативный эффект.

В основу настоящей работы положены результаты многолетних полевых исследований влияния автомобильных дорог на геосистемы террас региональной береговой системы Охотского моря, проводившиеся авторами в период с 2008 по 2020 гг.

ОСОБЕННОСТИ ГЕОСИСТЕМ МОРСКИХ ТЕРРАС о. САХАЛИН

Локальные геосистемы морских террас являются элементом более крупной региональной береговой геосистемы. Помимо отдельных геоморфологических единиц, расположенных на границе вода—суша, региональная береговая геосистема включает в себя зону литорали и прилегающей акватории, подводный рельеф, а также обширную зону побережья, связанную с морем процессами переноса вещества и энергии. Ширина береговой геосистемы может достигать нескольких десятков километров.

В связи со значительными масштабами региональной береговой геосистемы, строительство автомобильных дорог на морских террасах оказывает воздействие только на компоненты локальной геосистемы морских террас.

Территория о. Сахалин занимает островное положение в переходной полосе от материка Евразии к Тихому океану в зоне действия муссонной циркуляции умеренных широт. Годовое количество осадков на морском побережье колеблется в пределах 800—1100 мм. Осадки выпадают неравномерно, основное количество приходится на вторую половину лета и начало осени (65—70% годовой нормы) [6]. Такое большое количество осадков в этот период обусловлено прохождением циклонов и тайфунов, приносящих ливневые дожди, в течение которых за несколько суток может выпасть больше месячной нормы осадков. Так в августе 1981 г. при прохождении тайфунов “Оджин” и “Филлис” общее количество осадков на гидрометеорологической станции (ГМС) “Холмск” составило 203 мм при среднемноголетней их сумме за август 100 мм; на ГМС “Невельск” 211 мм при среднемноголетней сумме осадков за август 102 мм; на ГМС “Макаров” 215 мм при месячной норме 99 мм; на ГМС “Корсаков” 251 мм при месячной норме 91 мм [11]. В течение года над Сахалином проходит в среднем около ста циклонов, которые способствуют активному увлажнению территории и активизации экзогенных геодинамических процессов.

Муссонный климат и активная циклоническая деятельность характерны для территории всего побережья Охотского моря, в том числе территории Магаданской области, Курильских островов и Камчатки.

Среди компонентов геосистем морских террас о. Сахалин, которые могут оказывать влияние на конструктивную целостность автомобильных дорог, стоит выделить рельеф, геологическую среду и гидрологический режим, обусловленный климатическими особенностями территории.

Высота морских террас о. Сахалин может достигать 200 м, а высота уступа от подножия до бровки несколько десятков метров. Вне зависимости от расположения транспортных магистралей (у подножия или на поверхности морской террасы) высокая энергия рельефа приводит к активному развитию склоновых процессов и увеличению их динамических характеристик. Преобразование рельефа морских террас в ходе строительства автомобильной дороги может значительно увеличивать потенциальную энергию геодинамических процессов в связи с перемещением и складированием большого объема земляных масс.

Геологическая среда геосистем морских террас и ее особенности обусловлены механизмом формирования и строением морских террас. В зависимости от строения морские террасы подразделяют на аккумулятивные (полностью сложенные прибрежно-морскими отложениями), цокольные (имеющие коренной цоколь, перекрытый морскими отложениями) и абразионные уступы (сложенные только коренными породами) [17].

Морские берега, представленные преимущественно аккумулятивными и аккумулятивно-денудационными морскими террасами. Грунты, слагающие морские террасы, представлены преимущественно рыхлыми четвертичными отложениями (пески, галечники, супеси и т.д.), а также скальными и полускальными породами верхне-мелового, палеогенового и неогенового возрастов, которые представлены аргиллитами, песчаниками, алевролитами [4]. Горные породы сильно дислоцированы и характеризуются низкими фильтрационными свойствами, хорошей размокаемостью, низким сцеплением и углом внутреннего трения, что способствует активному вовлечению их в склоновые процессы.

Морские террасы на территории о. Сахалин сильно расчленены различными эрозионными формами рельефа: врезами, оврагами, долинами небольших водотоков. Малые водотоки, в том числе временные, на морских побережьях при их незначительной площади, как правило, обладают большими поперечными и продольными уклонами, невысокой залесенностью, а вмещающие горные породы зачастую отличаются низкой инфильтрацией, что в период ливневых осадков приводит к минимальному времени формирования максимального поверхностного стока и высоким значениям расходов, а также активному формированию флювиальных и водно-гравитационных процессов. Особенности гидрологиче-

ского режима морских террас обусловлены муссонным климатом с интенсивными осадками, геологической средой и рельефом.

ДЕФЕКТЫ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ

Система дорожного водоотведения состоит из ряда сооружений и отдельных конструктивных мероприятий, предназначенных для предотвращения переувлажнения земляного полотна и обеспечения благоприятного режима влажности грунтовых оснований дорожных одежд [18].

Под дефектом системы водоотведения подразумевается отдельное несоответствие ее конструкции по какому-либо параметру, установленному проектом или нормативно-техническим документом (СНиП, ГОСТ и т.д.), которое может приводить к негативным последствиям: повреждению различных элементов автодороги (земляного полотна, дорожной одежды, искусственных дорожных сооружений) и снижению уровня безопасности дорожного движения.

В настоящее время дефекты систем водоотведения включены в общую систему классификации дефектов автомобильных дорог, указанную в Каталоге типичных дефектов содержания конструктивных элементов автомобильных дорог [8], а также в Приложении № 1 к Приказу Минтранса РФ от 8 июня 2012 г. № 163 “Об утверждении Порядка проведения оценки уровня содержания автомобильных дорог общего пользования федерального значения” [14]. Данные нормативные документы предназначены для распознавания и выявления типичных дефектов содержания конструктивных элементов автомобильных дорог путем визуального сличения изображения дефектов с реальными дефектами на дорогах при их обследовании службами ремонта и содержания. Аналогичные системы классификации и распознавания дефектов существуют в зарубежной литературе [20].

В разные годы изучению дефектов автомобильных дорог, в том числе систем водоотведения были посвящены работы А.П. Васильева, Т.А. Гурьева, Б.Ф. Перевозникова, А.А. Ильиной, М.Я. Крицкого и В.Н. Шестакова [3, 5, 7, 9, 12, 13], в которых были освещены вопросы классификации дефектов, повреждений и разрушений автомобильных дорог, причины их возникновения, конструктивные схемы водоотведения и их функциональные особенности, а также характерные недостатки строительства и содержания дорожного водоотвода. Большое внимание в работах зарубежных авторов уделено машинному распознаванию дефектов для автоматизации работы служб эксплуатации автомобильных дорог [19, 21].

В работе авторами принята условная классификация дефектов систем водоотведения на категории: отсутствие организованной системы водо-



Рис. 1. Денудация земляного полотна: а — автодорога Южно-Сахалинск—Оха, 2017 г.; б — автодорога Невельск—Томари—аэропорт Шахтерский, 2007 г.

отведения и конструктивные дефекты, возникшие на стадии проектирования, строительства или эксплуатации.

Отсутствие организованного водоотведения

Организованная система водоотведения условно включает в себя водосборные и водосбросные сооружения.

Водосборные сооружения предназначены для сбора и концентрации поверхностных вод, к ним относятся: боковые канавы (кюветы), водоотводящие канавы, нагорные канавы, прикромочные, дождеприемные и поперечные водосбросные лотки, ливневая канализация, водопропускные сооружения (мосты и трубы), сооружения подземного водоотвода.

Водосбросные сооружения: перепады, гасители энергии, быстротоки с водобойными колодцами, рассеивающие трамплины, предназначены для гашения на коротком участке кинетической энергии водного потока до размеров, не угрожающих размыву искусственного водоотводного русла или мест выброса воды на прилегающую территорию.

Стоит отметить, что отсутствие системы водоотведения может относиться как к элементам земляного полотна самой автодороги (покрытие, откосы), так и к прилегающей территории (полоса отвода).

Отсутствие водосборных сооружений имеет негативные последствия:

- застои воды на покрытии,
- временные нерусловые потоки с откосов земляного полотна,
- фильтрационные потоки в теле насыпи,

— опасные экзогенные процессы в теле земляного полотна и полосе отвода (оползни, эрозия, сели, наледи и др.).

Скопление воды на покрытии автодороги и в конструктивных слоях дорожной одежды может значительно снизить их эксплуатационные характеристики и несущую способность при воздействии динамических нагрузок и знакопеременных температур.

Неорганизованная концентрация и движение жидких атмосферных осадков на покрытии автодороги помимо снижения безопасности дорожного движения приводит к формированию временных нерусловых потоков с откосов земляного полотна.

Данные процессы приурочены к участкам изменения продольного профиля автомобильной дороги или траектории движения (виражам, пересечениям, подъемам и спускам) [9]. Сила воздействия подобных потоков зависит от схемы поверхностного водоотведения, плана организации рельефа дороги и полосы отвода, а также энергии рельефа местности.

Наиболее подвержены возникновению нерусловых потоков с откосов земляного полотна участки автодорог со схемой поверхностного водоотведения в виде свободного стекания воды по поверхности проезжей части дороги на обочины и далее на откосы. В этом случае повреждение земляного полотна автодороги происходит вследствие эрозии, формирования склоновых селей или вязкопластичных оползней грунта земляного полотна со стороны низового откоса (рис. 1).

Фильтрационные потоки, возникающие вследствие подтопления, приводят к переувлажнению и разуплотнению грунтов земляного полотна. В результате разуплотнения грунтов под действием взвешивающего действия воды, ча-



Рис. 2. Разрушение конструкций водопропускной трубы в процессе эксплуатации. Автодорога Южно-Сахалинск—Оха. Средний Сахалин, 2017 г.

стичного растворения минеральных частиц и их суффозионного выноса под действием гидродинамического давления фильтрационного потока, развития вязкопластичных деформаций в теле земляного полотна при проявлении реологических свойств также происходит разрушение верхового и низового откосов [18].

Стоит отметить, что при резком увеличении уровня воды с подтопляемой стороны происходит значительное увеличение гидродинамического давления фильтрационного потока на низовой откос. Согласно механике грунтов и теории фильтрации, сила гидродинамического воздействия фильтрационного потока на откос прямо пропорциональна градиенту напора [1]:

$$J = H/L,$$

где H — градиент напора (разность горизонтов воды); L — длина пути фильтрации.

Таким образом, даже незначительные колебания уровня воды могут привести к повреждению низового откоса подтопленной земляной насыпи автодороги.

Застой воды в полосе отвода автодороги с нагорной стороны затрудняют фильтрацию и отток воды из переувлажненных потенциальных оползневых и селевых массивов, тем самым способствуя активизации опасных склоновых экзогенных процессов, увеличению морозного пучения дорожных одежд и др.

Отсутствие водосбросных сооружений может приводить к образованию размывов и активизации опасных экзогенных процессов со стороны низового откоса. Водные потоки в местах сброса находятся чаще всего в бурном состоянии и обладают большой кинетической энергией. Скорость потока может достигать 2–3 м/с, что существенно превышает нормативные неразрывающие скорости для несвязных грунтов (0.7–1.0 м/с).

Конструктивные дефекты систем водоотведения

Конструктивные дефекты систем водоотведения могут быть представлены:

- недостаточной пропускной способностью сооружений;
- несоблюдением требуемой скорости потока;
- нарушением сбора и концентрации потока.

Конструктивные дефекты систем водоотведения могут относиться к различным элементам водосборных и водосбросных сооружений, обладающим недостаточными эксплуатационными характеристиками или утратившими их в результате обветшания или повреждения (рис. 2).

Недостаточная пропускная способность водопропускных сооружений выражается в нарушении их гидравлического режима или отсутствии возможности пропуска паводковых вод, карчеходов или селепропуска.

В период паводков происходит переход водопропускных сооружений в полупапорный, напорный или переходный режимы работы, сопряженные с подтоплением верхового и низового откосов. Значительные колебания напора, скорости и давления, а также турбулентные пульсации при работе в переходных режимах могут представлять угрозу для исправности и конструктивной целостности самого водопропускного сооружения, вызывая повреждения оголовков, смещение в плане и профиле его звеньев и раскрытие швов [1, 10].

Отсутствие возможности селепропуска и карчеходов приводит к заиливанию или заваливанию отверстий водопропускных сооружений и выходу их из строя (рис. 3), что может повлечь повреждение земляного полотна автодороги и верхнего бьефа [2].

Значительно снижает пропускную способность в период паводков и селепрохождений использование двух- и многоочковых водопропускных труб (см. рис. 3б), а также размещение раз-

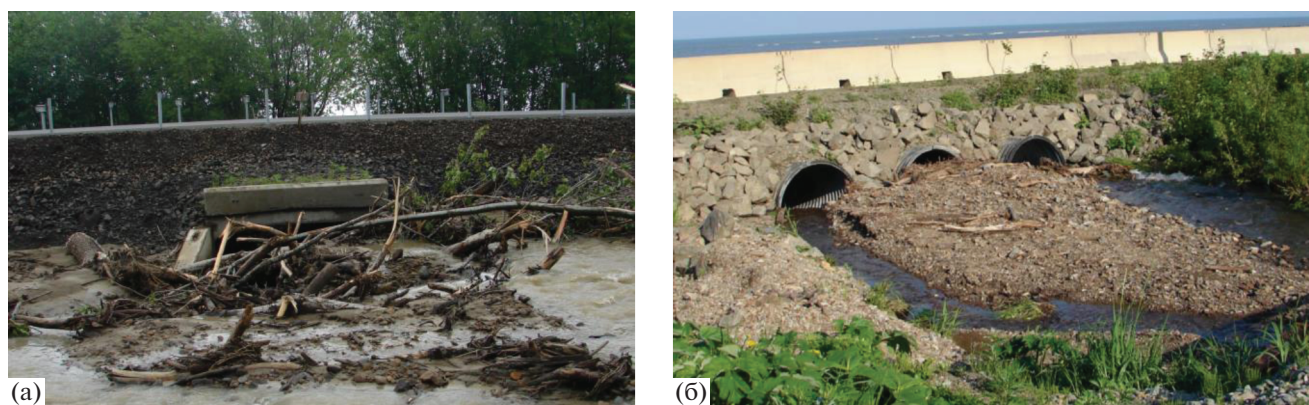


Рис. 3. Водопрпускные сооружения, заваленные селевыми отложения и корчами: а — автодорога Южно-Сахалинск—Оха. Средний Сахалин, 2018 г.; б — автодорога Южно-Сахалинск—Оха. Средний Сахалин, 2009. г.



Рис. 4. Автодорога Южно-Сахалинск—Оха. Средний Сахалин, 2017 г.: а — разрушение нижнего бьефа; б — необорудованный входной оголовок.

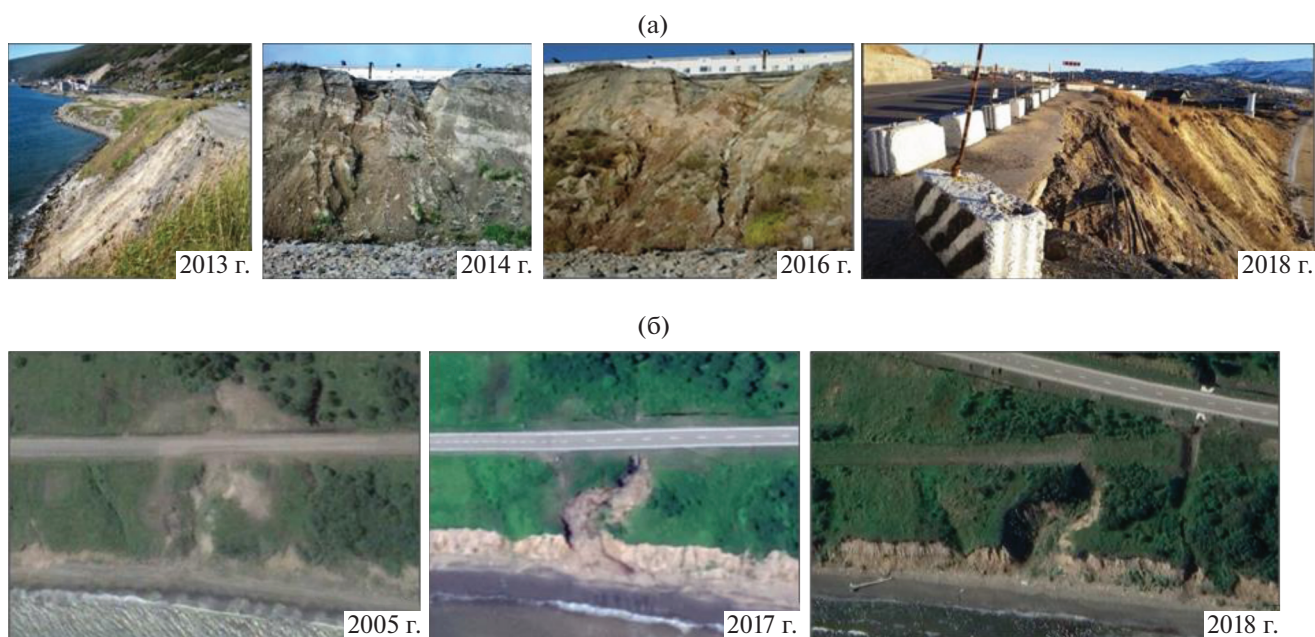


Рис. 5. Динамика развития селевых бассейнов на морских террасах: а — г. Магадан, б — Средний Сахалин.

личного рода коммуникаций и трубопроводов в пределах живого сечения водотоков. Поток, насыщенный твердым материалом (взвешенными частицами, придонными наносами, корчами, дерном и т.д.), испытывает значительное сопротивление, преодолевая подобного рода препятствия, что неизменно приводит к отложению и аккумуляции переносимого материала.

На участках морских террас наиболее часто проблема недостаточной пропускной способности встречается в местах пересечения малых горных водотоков, а также антропогенно измененных водосборах. Попытки осреднения расчетных данных на стадии проектирования малых водопропускных сооружений, а также назначение их параметров конструктивно, зачастую приводят к несоответствию их эксплуатационных характеристик реальному гидрологическому режиму малого водосборного бассейна и как следствие недостаточной пропускной способности.

Несоблюдение требуемой скорости потока относится как к превышению максимальной допустимой скорости, так и к обеспечению требуемой минимальной скорости.

Недостаточные скорости водного потока в водосборных сооружениях приводят к их заиливанию и выходу из строя. Вследствие превышения максимальной допустимой скорости водного потока происходит преждевременный износ водопропускных сооружений и размывы русел, бьефов, откосов, а также активное развитие селевых и оползневых процессов в нижнем бьефе (рис. 4а).

Дефекты сбора и концентрации потока относятся к водосборным (водоприемным и водопропускным) и водосбросным сооружениям.

Среди дефектов водоприемных сооружений, не обеспечивающих надлежащий сбор поверхностных вод, наиболее часто встречаются: повреждение или отсутствие входных оголовков и противодиффузионных элементов (см. рис. 4б), недостаточный объем верхних бьефов. Дефекты водоприемных сооружений приводят к размыву со стороны верхового откоса гидродинамическими потоками, повреждению низового откоса и переувлажнению земляного полотна фильтрационными потоками.

К дефектам водопропускных сооружений, не обеспечивающим концентрацию потока при его пропуске, относятся: смещение секций и звеньев, раскрытие швов, переливы канав. Данные дефекты обуславливают возникновение фильтрационных потоков в земляном полотне, в отдельных случаях размывы.

К конструктивным дефектам водосбросных сооружений, не обеспечивающим концентрацию водного потока, относится и отсутствие сопряжения водопропускного и водосбросного сооружения. В данном случае водный поток не поступает

частично или в полном объеме к водосбросным сооружениям (перепадам, гасителям, быстроткам, трамплинам и т.д.), что приводит к размывам и развитию опасных экзогенных процессов со стороны низового откоса.

Недостаточная пропускная способность и несоблюдение требуемой скорости потока являются дефектами стадии проектирования. Для устранения данных дефектов требуется значительные затраты на дополнительные проектно-исследовательские работы, последующие демонтажные и строительно-монтажные работы. Дефекты сбора и концентрации потока могут быть не учтены на стадии проектирования, но чаще проявляются на стадиях строительства и эксплуатации. Для их устранения требуется капитальный ремонт или реконструкция сооружения.

ОБРАТНЫЙ ЭФФЕКТ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОСИСТЕМ МОРСКИХ ТЕРРАС

Важную роль в развитии морских террас играют экзогенные геодинамические процессы. Они образуют разнообразные отрицательные формы рельефа, преобразуют профиль морской террасы, формируют различные генетические типы отложений. Наибольшее влияние на эти процессы переноса вещества и энергии оказывают эрозия, денудация и абразия. Внутри геосистемы морских террас процессы переноса вещества и энергии находятся в состоянии предельного равновесия, обусловленного относительным равенством потенциальной энергии рельефа и кинетической энергии геодинамических процессов. Увеличение доли кинетической энергии внутри геосистемы активизирует процессы переноса вещества и энергии и преобразования рельефа.

Для оценки антропогенного воздействия на активизацию геодинамических процессов и эволюцию геосистем морских террас были выделены контрольные участки автомобильных дорог, исследовано их геологическое строение, геоморфологические и геоботанические признаки проявления экзогенных геодинамических процессов, проанализированы имеющиеся фондовые данные.

Наблюдения проводились за скоростью роста эрозионных и денудационных форм рельефа, скоростью выветривания горных пород и формированием потенциальных оползневых и селевых массивов, изменением характеристик геодинамических процессов и их активизацией при антропогенном воздействии, разрушением автомобильных дорог под действием опасных экзогенных процессов (рис. 5).

По результатам исследования установлено, что изменение рельефа при строительстве автомобильных дорог (подрезка склонов, формиро-

вание насыпей и выемок) приводит к нарушению состояния равновесия земляных масс и увеличению потенциальной энергии рельефа, что впоследствии увеличивает динамические характеристики опасных экзогенных процессов (объем, скорость, давление на препятствие, дальность выброса).

Кроме того, строительство автомобильных дорог оказывает влияние на геологическую среду геосистемы морских террас. Сведение растительности, подрезка склонов, механизированная обработка грунтов нарушает их температурный режим, увеличивает скорость выветривания, снижает физико-механические характеристики горных пород, что приводит к активному их вовлечению в опасные экзогенные процессы.

Изменение гидрологического режима территории при сведении растительности, организации сбора и отведения поверхностных вод также способствует активизации геодинамических процессов и росту их динамических характеристик.

Негативное воздействие обратного эффекта влияния дефектов систем водоотведения автомобильных дорог на изменение геосистем морских террас выражается в активизации опасных геодинамических процессов, увеличению их динамических характеристик и преобразованию рельефа.

ВЫВОДЫ

Морское побережье о. Сахалин характеризуется сложными инженерно-геологическими и климатическими условиями, а также широким распространением опасных экзогенных процессов, что обуславливает необходимость особенно тщательного подхода к материалам инженерных изысканий. При проведении инженерных изысканий необходимо определять инженерно-геологические условия и характеристики компонентов геосистем не только в полосе отвода объекта, но и в пределах всей геоморфологической единицы, к которой приурочен объект, что в настоящее время строго не регламентировано действующими техническими нормативами.

Строительство автомобильных дорог на морских террасах, оказывает влияние на компоненты геосистемы морских террас: рельеф, геологическую среду и гидрологический режим, что может вызывать обратный негативный эффект, представляющий угрозу конструктивной целостности автомобильных дорог вследствие активизации опасных экзогенных процессов.

Наиболее часто на активизацию опасных экзогенных процессов оказывают влияние дефекты системы водоотведения, среди которых можно выделить отсутствие системы водоотведения и конструктивные дефекты водосборных и водосбросных сооружений. Дефекты систем водоот-

ведения приводят к застою воды на покрытии и в пределах полосы отвода, формированию фильтрационных и напорных гидродинамических потоков, временных нерусловых потоков с откосов земляного полотна, денудации земляного полотна и полосы отвода, а также развитию опасных экзогенных процессов.

Поскольку на стадии изысканий и проектирования автомобильных дорог, расположенных на морских побережьях, затруднительно спрогнозировать последствия антропогенного воздействия на компоненты геосистемы морских террас, за возводимыми объектами необходимо вести регулярный мониторинг для возможного оперативного принятия решений по предотвращению развития опасных экзогенных процессов, в том числе проводить регулярное обследование водопропускных сооружений, дорожного покрытия, земляного полотна и полосы отвода объекта в периоды активизации опасных экзогенных процессов: после снеготаяния и интенсивных ливневых осадков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алтунин В.И., Суэтина Т.А., Черных О.Н. Гидравлические расчеты водопропускных труб на автомобильных дорогах: учеб. пос. М.: МАДИ, 2016. 92 с.
2. Булдаков С.И. Проектирование основных элементов автомобильных дорог: учеб. пос. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2011. 295 с.
3. Васильев А.П., Баловнев В.И. и др. Ремонт и содержание автомобильных дорог. Справочник инженера-дорожника. М.: Транспорт, 1989. 287 с.
4. Геология СССР. Том 33. Остров Сахалин. М.: Недра, 1970. 403 с.
5. Гурьев Т.А. Строительство автомобильных дорог. Ч. 1. Дефекты, повреждения и разрушения земляного полотна автомобильных дорог. Архангельск: АГТУ, 1997. 16 с.
6. Земцова А.И. Климат Сахалина. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 197 с.
7. Ильина А.А. Об основных требованиях и правилах устройства, содержания и ремонта сооружений поверхностного водоотвода автомобильных дорог // Автомоб. дороги: Науч.-техн. информ. сб. Вып. 1. М.: Информавтодор, 2001. С. 14–26.
8. Каталог типичных дефектов содержания конструктивных элементов автомобильных дорог М.: Информавтодор, 1998. 28 с.
9. Крицкий М.Я., Шестаков В.Н. О классификации дефектов земляного полотна автомобильных дорог // Вестник СибАДИ. 2007. Вып 5. С. 69–76.
10. Лисов В.М. Дорожные водопропускные трубы. М.: ТИМР, 1998. 140 с.
11. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6.

- Выпуск 34. Сахалинская область Л.: Гидрометео-издат, 1990. 350 с.
12. *Перевозников Б.Ф.* Водоотвод с автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1982. 190 с.
 13. *Перевозников Б.Ф., Ильина А.А.* Сооружения системы водоотвода с проезжей части автомобильных дорог. М.: Информавтодор, 2002. 60 с.
 14. Приказ Минтранса РФ от 8 июня 2012 г. N 163 "Об утверждении Порядка проведения оценки уровня содержания автомобильных дорог общего пользования федерального значения". URL: <http://docs.cntd.ru/document/902353741>
 15. *Рыбальченко С.В., Верховов К.В.* Склоновые селевые бассейны и их морфодинамические особенности // Геориск. 2017. № 4. С. 44–49.
 16. *Рыбальченко С.В., Верховов К.В.* Этапы формирования селевых бассейнов на склонах морских террас Нагаевской бухты полуострова Старицкого (г. Магадан) // Вестник ДВО РАН. 2016. № 5. С. 94–99.
 17. *Рычагов Г.И.* Общая геоморфология Учебник. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 2006. 416 с.
 18. *Трескинский С.А.* Склоны и откосы в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1984. 157 с.
 19. *Branco L.H.C., Segantine P.C.L.* Maniac-uav a methodology for automatic pavement defects detection using images obtained by unmanned aerial vehicles. 4th International Conference on Mathematical Modeling in Physical Sciences (IC-MSquare2015). IOP PUBLISHING. Journal of Physics: Conference Series. 2015. Vol. 633. No. 1. P. 012122. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/633/1/012122>
 20. Guidance notes catalogue of road defects (CORD) Research & Development Division RD/GN/015 B January 2013. URL: https://www.hyd.gov.hk/en/publications_and_publicity/publications/technical_document/guidance_notes/pdf/GN015B.pdf
 21. *Saar T., Talvik O.* Automatic Asphalt pavement crack detection and classification using Neural Networks // Proc. of the 12th Biennial Baltic Electronics Conference (BEC10). 2010. P. 345–348. <https://doi.org/10.1109/BEC.2010.5630750>.

IMPACT OF ERRORS IN WATER DRAINAGE SYSTEMS OF HIGHWAYS ON THE MARINE TERRACE GEOSYSTEMS

S. V. Rybal'chenko^{a, #} and A. S. Oganezov^{b, ##}

^a *Special Design Engineering Bureau for Automation of Marine Researches, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, ul. Maksima Gor'kogo, 25, Yuzhno-Sakhalinsk, 693000 Russia*

^b *Sakhalin State University, Kommunisticheskii pr., 33, Yuzhno-Sakhalinsk, 693000 Russia*

[#] *E-mail: rybalchenko_sv@mail.ru*

^{##} *E-mail: artusur@mail.ru*

Errors in drainage system arrangement at the stage of research, design, construction and operation of highways play a significant role in the intensification of processes that pose threat to the structural integrity of roads and road safety. Unorganized collection and removal of surface water from the roadway lead to the development of denudation, erosion, rheological and mudflow processes in the roadbed body or in a close proximity to it. Due to the peculiarities of sea terraces (geomorphological, geological and hydrological), the transport and operational characteristics of highways are significantly reduced. On the basis of field observations, the most characteristic defects of road elements located on sea terraces are identified. Two groups of defects in drainage systems have been distinguished: the lack of organized drainage and structural defects of culverts. Defects in drainage systems damage various road units. The mechanism of the negative impact of defects in drainage systems on the structural integrity of transport highways embraces a number of phenomena: stagnation of water on the surface, filtration and pressure of hydrodynamic flows, temporary off-channel flows from the slopes of the subgrade, as well as hazardous exogenous processes in the body of the earth canvas and in the right-of-way. In order to prevent the consequences of defects in drainage systems at the stage of design, construction, reconstruction and operation of highways, it is necessary to meet all the necessary requirements of normative documents in the field of wastewater disposal, as well as to take into account engineering geological, geomorphological and climatic features of the territories of sea coasts, including sea terraces.

Keywords: *culverts, subgrade, defects in water disposal systems, dangerous exogenous processes, filtration flows, erosion*

REFERENCES

1. Altunin, V.I., Suetina, T.A., Chernykh, O.N. *Gidravlicheskie raschety vodopropusknykh trub na avtomobil'nykh dorogakh* [Hydraulic calculations of culverts on highways]. Moscow, MADI Publ., 2016, 92 p. (in Russian)
2. Buldakov, S.I. *Proektirovanie osnovnykh elementov avtomobil'nykh dorog* [Design of the main units of highways]. Yekaterinburg, Ural State Forestry University Publ., 2011, 295 p. (in Russian)
3. Vasil'ev, A.P., Balovnev, V.I., et al. *Remont i soderzhanie avtomobil'nykh dorog. Spravochnik inzhenera-*

- dorozhnika*. [Repair and maintenance of highways. Handbook of a road engineer]. Moscow, Transport Publ., 1989, 287 p. (in Russian)
4. *Geologiya SSSR. Tom 33. Ostrov Sakhalin*. [Geology of the USSR. Volume 33. Sakhalin Island]. Moscow, Nedra Publ., 1970, 403 p. (in Russian)
 5. Gur'ev, T.A. *Stroitel'stvo avtomobil'nykh dorog. Ch. I. Defekty, povrezhdeniya i razrusheniya zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog* [Construction of highways. Part 1. Defects, damage and destruction of the roadbed]. Arkhangelsk, AGTU Publ., 1997, 16 p. (in Russian)
 6. Zemtsova, A.I. *Klimat Sakhalina*. [Sakhalin climate]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1968, 197 p. (in Russian)
 7. Il'ina, A.A. On the basic requirements and rules for the construction, maintenance and repair of structures for surface drainage of highways. *Avtomobil'nye dorogi: nauchno-tekhnicheskii informatsionnyi sbornik* [Highways: scientific and technical information collection]. Moscow, Informavtodor Publ., 2001, vol. 1, pp. 14–26 (in Russian)
 8. *Katalog tipichnykh defektov soderzhaniya konstruktivnykh elementov avtomobilnykh dorog* [Catalog of typical defects in the maintenance of structural elements of highways]. Moscow, Informavtodor Publ., 1998, 28 p. (in Russian)
 9. Kritskii, M.Ya., Shestakov, V.N. [On the classification of defects of the road subgrade]. *Vestnik SibADI*, 2007, vol. 5, pp. 69–76. (in Russian)
 10. Lisov, V.M. *Dorozhnye vodopropusknye truby* [Road culverts]. Moscow, TIMR Publ., 1998, 140 p. (in Russian).
 11. *Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Mnogoletnie dannye. Chasti 1-6. Vypusk 34. Sakhalinskaya oblast* [Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 3. Long-term data. Parts 1-6. Issue 34. Sakhalin Region]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1990, 350 p. (in Russian)
 12. Perevoznikov, B.F. *Vodootvod s avtomobil'nykh dorog* [Drainage from roads]. Moscow, Transport Publ., 1982, 190 p. (in Russian)
 13. Perevoznikov, B.F., Il'ina, A.A. *Sooruzheniya sistemy vodootvoda s proezzhei chasti avtomobil'nykh dorog* [Construction of drainage system from the roadway]. Moscow, Informavtodor Publ., 2002, 60 p. (in Russian)
 14. *Prikaz Mintransa RF ot 8 iyunya 2012 g. N 163 "Ob utverzhdenii Poryadka provedeniya otsenki urovnya soderzhaniya avtomobilnykh dorog obshchego polzovaniya federal'nogo znacheniya"* [Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated June 8, 2012 no. 163 "On approval of the Procedure for assessing the level of maintenance of federal public roads."]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902353741>. (in Russian)
 15. Rybal'chenko, S.V., Verkhovov, K.V. *Sklonovye selevye basseiny i ikh morfodinamicheskie osobennosti* [Slope mudflow basins and their morphodynamic features]. *Georisk*, 2017, no. 4, pp. 44–49. (in Russian)
 16. Rybal'chenko, S.V., Verkhovov, K.V. *Etapy formirovaniya selevykh basseinov na sklonakh morskikh terras Nagaevskoi bukhty poluoostrova Staritskogo (g. Magadan)* [Stages of formation of mudflow basins on the slopes of the sea terraces of the Nagaev Bay of the Staritskii Peninsula (Magadan)]. *Vestnik DVO RAN*, 2016, no. 5, pp. 94–99. (in Russian)
 17. Rychagov, G.I. *Obshchaya geomorfologiya* [General geomorphology]. Moscow, Nauka Publ., 2006, 416 p. (in Russian)
 18. Treskinskii, S.A. *Sklony i otkosy v dorozhnom stroitel'stve* [Slopes and slopes in road construction]. Moscow, Transport Publ., 1984, 157 p. (in Russian)
 19. Branco, L.H.C., Segantine, P.C.L. Maniac-uav a methodology for automatic pavement defects detection using images obtained by unmanned aerial vehicles. 4th Int. Conf. on Mathematical Modeling in Physical Sciences (IC-MSquare2015). IOP PUBLISHING. *Journal of Physics: Conference Series*. 2015, vol. 633, no. 1, p. 012122. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/633/1/012122>
 20. Guidance notes catalogue of road defects (CORD) Research and Development Division RD/GN/015 B January 2013. URL: https://www.hyd.gov.hk/en/publications_and_publicity/publications/technical_document/guidance_notes/pdf/GN015B.pdf.
 21. Saar, T., Talvik, O. Automatic asphalt pavement crack detection and classification using neural networks. Proc. of the 12th biennial Baltic electronics conference (BEC10). 2010, pp. 345–348. <https://doi.org/10.1109/BEC.2010.5630750>.