

## Геоморфология и народное хозяйство

УДК 551.4.438.5:625.74(571.1)

© 2006 г. В.И. ЕВДОКИМОВ

### МОРФОДИНАМИКА ЛИНЕЙНЫХ НАСЫПЕЙ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Возобновление интереса к Северу России, связанное с освоением месторождений углеводородного сырья, возобновляет и интерес к вопросам строительства в этом сложном районе. Как правило, таковое строительство осуществляется с использованием насыпи – линейной для наземного транспорта (автомобильные и железные дороги), площадной для промышленных и гражданских объектов. Протяженность линейных насыпей гораздо больше, и разрушения на них разнообразнее и значительнее, нежели на площадных. Поэтому вопрос их геоморфологического изучения представляет большой интерес.

Проявления разрушительных морфодинамических процессов на насыпях весьма разнообразны, но их классификация отсутствует.

#### Предпосылки и основы классификации

Главная задача линейной насыпи – быть надежной основой для проезда транспорта. Например, нарушение целостности насыпи при ее прорыве паводковыми водами делает пользование ею невозможным. Если в теле насыпи образуются суффозионные каналы, она не сможет выдержать проезда автотранспорта. При образовании бугров пучения, просадок или при пораженности насыпи сетью промоин, она тоже выходит из строя. Происходит изменение облика насыпи: к предусмотренным нормами элементам автомобильной дороги: откосам, обочинам, бермам, кюветам, канавам и пр. [1], добавляются: борозды, промоины, конусы выноса, тела оползней и оплывин, трещины и блоки отседаний и иные формы рельефа. Одновременно меняются морфометрические характеристики насыпи.

Постоянное изменение облика насыпи есть следствие развития на ней морфодинамических процессов. Главным классификационным признаком морфодинамических процессов на линейной насыпи является перемещение грунта.

Отечественная традиция нормативного обеспечения возведения насыпей опирается, главным образом, на получение характеристик грунтов [1–3 и др.]. За пределами внимания исследователей остаются три допущения, на которых построены методики оценки состояния грунта:

- свойства грунта в образце идентичны свойствам грунта *in situ*;
- характеристики грунта не меняются во времени;
- нарушения целостности насыпи зависят от состояния грунтов.

Между тем деформация насыпи происходит при *перемещении грунта*, поэтому анализ грунта для решения вопросов по предотвращению разрушения насыпей необходимо дополнить классификацией морфодинамических процессов на насыпи, в основе ко-

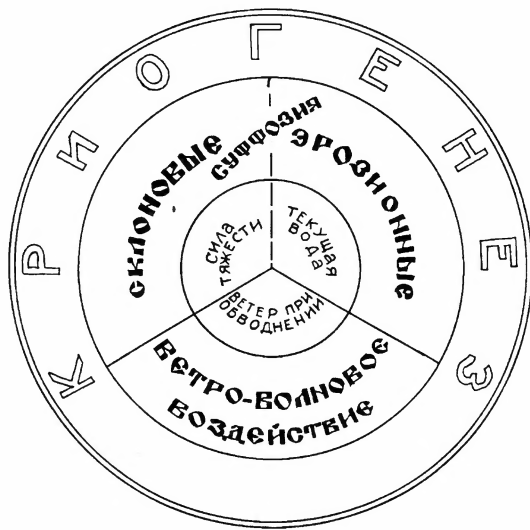


Рис. 1. Соотношение морфодинамических процессов на линейных насыпях Севера Западной Сибири  
Круги: внутренний – агенты морфодинамики, средний – морфодинамические процессы, внешний – осложняющие процессы

торой и должен быть помещен важнейший инженерный показатель – перемещение грунта. Таковая была предложена нами ранее [4] и основана на классической схеме движения вещества: разрушение–перемещение–накопление.

### Морфодинамические процессы на линейных насыпях

Для Севера Западной Сибири (где неперенным осложняющим явлением будет криогенез) классификация будет выглядеть так (рис. 1, таблица):

**Движение вещества сверху вниз. Склоновые (откосные) процессы.** Заложение откосов линейных насыпей, сложенных песком, составляет 1–3, т.е. 18–20°, а стабильная крутизна поверхности в тундрах региона менее 5°, – потенциал такого движения значителен.

**Отседание** – изначальное проявление гравитации на насыпи. Оно начинается с появления трещин отседания вдоль обочин, дополняемых перпендикулярными разрывными и морозобойными трещинами. В результате по краям насыпей обособляются блоки грунта объемом до 0.5 м<sup>3</sup>, и начинается их движение к подножию насыпи. Отседание отмечается также в бортах крупных промоин.

**Оползание.** Обособившиеся блоки грунта по поверхности мерзлого грунта или по поверхности армирующей обоймы смещаются к подножию откоса. Их дезинтеграция происходит во время дождей и снеготаяния. В бортах промоин скольжение осуществляется по трещине отседания, грунт выносятся водным потоком и отлагается в виде конуса выноса.

**Солифлюкция.** Площади, занимаемые солифлюкционными склонами, составляют на Севере 15–20% [5]. На откосах насыпей также хорошо выражена суффозия. Солифлюкционные процессы особенно активны во время снеготаяния.

На оголенных, увлажненных откосах встречаются сплывы (рис. 2). Для оголенных откосов, дренируемых системой борозд, характерны разнообразные натеки (рис. 3). С развитием дернины на откосах интенсивность солифлюкционных процессов заметно снижается.

## Классификация морфодинамических процессов на насыпях Севера Западной Сибири

Движение вещества	Тип морфодинамического процесса	№	Морфодинамический процесс	Факторы динамики рельефа линейной насыпи									
				гравитация	снеготаяние	дождевые осадки	морозобойное растрескивание	контакт с мерзлым грунтом	обводнение наветренного откоса	секущий водоток	водопропуск	армирующая обойма	
Сверху вниз	Склоновый	1	Отседание	+			+	+				+	
		2	Оползание	+				+				+	
		3	Солифлюкция	+	+	+		+					
		4	Дефлюкция	+	+	+							
		5	Плоскостной смыв	+	+	+							
		6	Накопление	+	+	+							
	Эрозионный	7	Плоскостной смыв	+		+							
		8	Образование борозд	+	+	+	+	+					
		9	Образование промоин	+	+	+	+	+				+	
		10	Перехваты	+	+	+	+	+				+	
		11	Колейные борозды	+	+	+	+	+					
		12	Промоины-кюветы	+	+	+	+	+					
		13	Суффозия	+	+	+	+						+
		14	Аккумуляция	+	+	+		+					
В сторону	Эрозионный	15	Переливы	+	+					+	+		+
		16	Прорвы	+	+		+			+	+	+	
		17	Распластывание	+				+		+	+	+	
Сложное	Ветро-волновое воздействие	18	Подрезка откоса	+						+			
		19	Отседание	+			+	+	+				+
		20	Оползание	+				+	+				+
		21	Опрокидывание	+				+	+				+
		22	Обрушение	+					+				
		23	Распластывание	+						+			

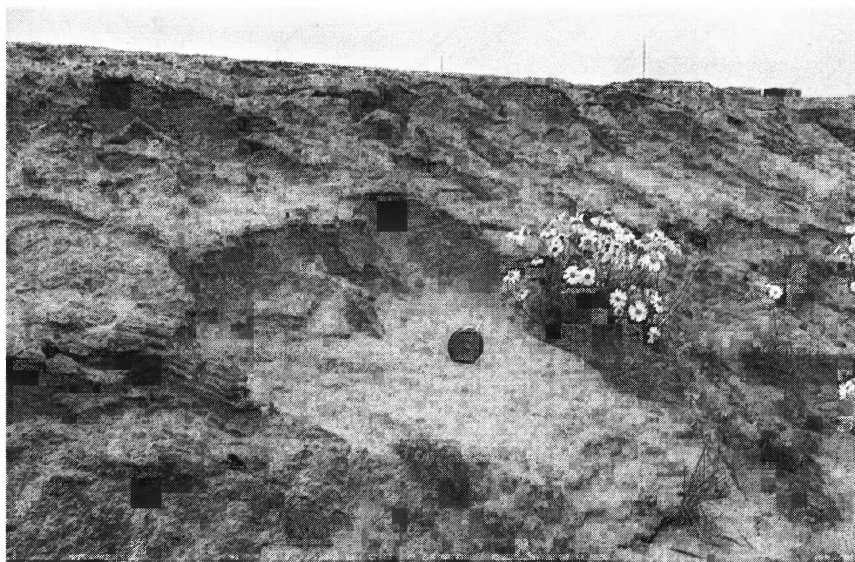


Рис. 2. Солифлюкционное движение грунта по откосу насыпи в виде сплыва (диаметр рулетки 10 см)



Рис. 3. Плащевидные и каплевидно-струйчатые натеки в нижней части откоса насыпи

*Дефлюкция.* Благодаря самосеву (в первую очередь это овсяница красная, (*Festuca rubra*) [6]) на откосах южной экспозиции и подветренных создается фрагментарный дерновый покров, который и определяет появление процессов начальной дефлюкции.

*Плоскостной смыв.* Эти процессы на поверхностях откосов развиты повсеместно. Переход от плоскостного смыва к линейному порождает короткие, неглубокие борозды, которые, однако, быстро заплывают. На насыпях, возраст которых приближается к 10 годам, и чьи откосы зарастают травой, процессы плоскостного смыва затухают.

*Накопление* грунта, перемещенного вниз по откосу, осуществляется как промежуточное, так и окончательное. Окончательно снесенный грунт накапливается у подно-

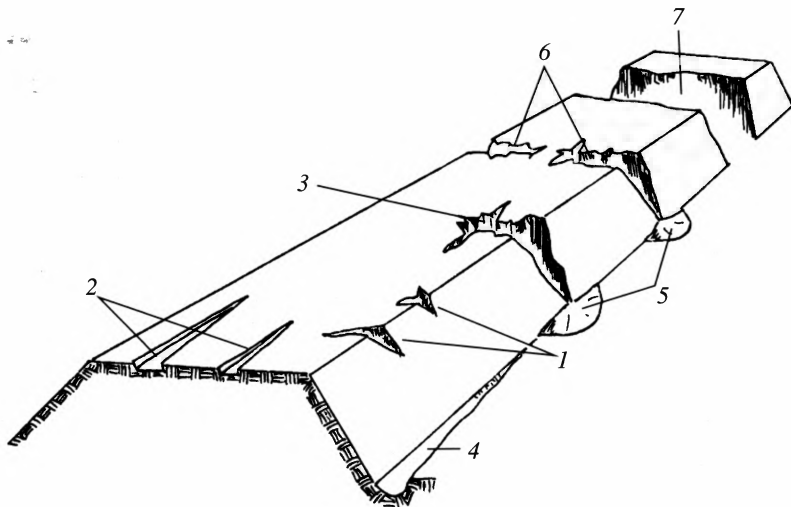


Рис. 4. Основные формы эрозионной деятельности в теле насыпи

1 – борозды, 2 – колежные борозды, 3 – промоина, 4 – промоина-кювет, 5 – конусы выноса, 6 – перехват, 7 – прорва

жия откоса уже на подстилающей поверхности в виде фрагментарного пролювиального шлейфа.

*Эрозионные процессы.* Эрозия – удобный процесс для разъяснения связи морфодинамических процессов и режима многолетней мерзлоты. В научно-технической литературе, в т.ч. посвященной северу Западной Сибири широко употребляется термин термоэрозия.

Термоэрозия – это эрозия, т.е. размыв текущей водой земной поверхности, сложенной мерзлыми, льдистыми грунтами. При этом текущая вода оказывает на мерзлый грунт тепловое воздействие, что усиливает размыв. При этом льдистая составляющая грунта трансформируется в воду и включается в состав текущей воды. Поэтому говорить о термоэрозии на насыпях можно применительно к весне, когда размывается мерзлый грунт насыпи. Летом, когда мерзлый грунт сохраняется в основании и ядре насыпи, на ней во время дождей происходит обычная эрозия. Таким образом, термоэрозия на насыпях не является самостоятельным процессом – это процесс эрозии, осложненный мерзлотными явлениями. Так он и рассматривается в классификации.

*Плоскостной смыв* – пограничный между склоновыми и эрозионными процессами. При благоприятных условиях он трансформируется в *линейный*, образуются борозды и промоины (рис. 4). Важную роль для стимуляции линейного смыва играет образование *морозобойных трещин*, перпендикулярных направлению автодороги.

*Борозды* образуются на бровках откосов – иногда одиночные, иногда сериями. Максимальная их длина составляет 1.0–1.5 м, глубина вреза 10–15 см. Выносимый по борозде грунт расплывается по откосу не образуя какой-либо отдельной формы.

Часть борозд развиваются в *промоины*. Развиваясь в плане, промоина растет поперек насыпи и вверх по ее уклону, образуя параллельно-перпендикулярные отвершки. Это объясняется морозобойным растрескиванием и использованием текущей водой трещин, как направляющих.

Особый случай развития промоин – это рост двусторонних промоин навстречу друг другу вдоль зимних морозобойных трещин (рис. 5). Они образуют *перехват* – единую эрозионную систему. Расстояние между их вершинами порой составляет менее 1.0 м. Чаще всего *перехват* отмечается на насыпях, пересекающих поймы.

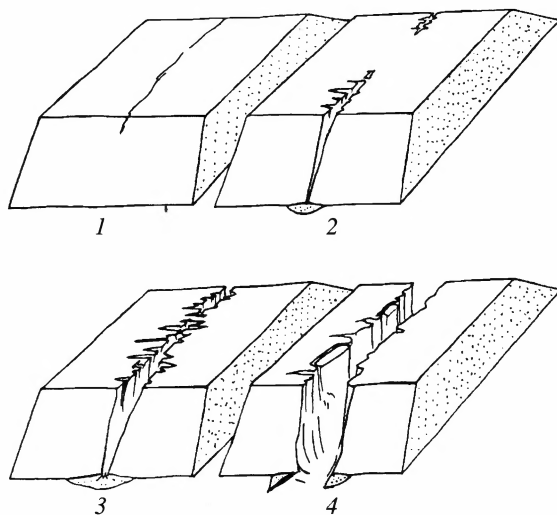


Рис. 5. Развитие эрозии линейной насыпи, стимулированной и направляемой морозобойной трещиной

Если насыпь имеет уклон поверхности, на ней появляются *колейные борозды* длиной до нескольких десятков метров. Их появление и развитие связано с проездом автотранспорта.

Вдоль подножия откоса наклонной насыпи, с ее обводненной стороны иногда появляются *промоины-куветы*. Особым условием их развития является значительная протяженность такого участка насыпи.

*Суффозионные процессы.* Предпосылкой представительного развития суффозии на насыпях региона являются пылеватый и мелкий пески, которыми они сложены. Ложем для суффозионных потоков являются: более плотно уложенный грунт, мерзлый грунт, обойма из геосинтетики.

Механизм развития суффозии прост. Используя разницу в плотности грунта и систему морозобойных трещин талая и дождевая вода проникает в тело насыпи и затем устремляются к ее откосам, образуя каналы. Над ними образуются просадки грунта. Иногда вдоль каналов закладываются промоины, и формируется *эрозионно-суффозионная форма рельефа* (рис. 6).

*Движение вещества в сторону.* Этот процесс на насыпях ярко проявляется в двух случаях.

Во-первых, весной, при значительном обводнении территории, пересекаемой насыпью, и направленном движении водных потоков, в отдельных местах происходит перелив воды через насыпь. При этом грунт поверхности насыпи относительно равномерно перемещается к подножию тыловой стороны насыпи, где частично и откладывается.

Во-вторых, перехват, расположенный на насыпи в месте секущей ее ложбины стока, является благоприятным местом для дополнительного развития эрозии. В размыв насыпи включается секущий поток воды, происходит прорыв насыпи и образуется *прорва* (рис. 4).

Если по достижении базиса эрозии промоины, образующие перехват, формируют конусы выноса, то у прорвы их уже нет – грунт конусов выноса перемещается секущим водотоком.

*Сложное движение вещества.* Сложность движения вещества насыпей автодорог следует понимать буквально. Т.е., складывается (рис. 1):

– движение вещества сверху вниз под действием силы тяжести и текущей воды (склоновые, суффозионные и эрозионные процессы);

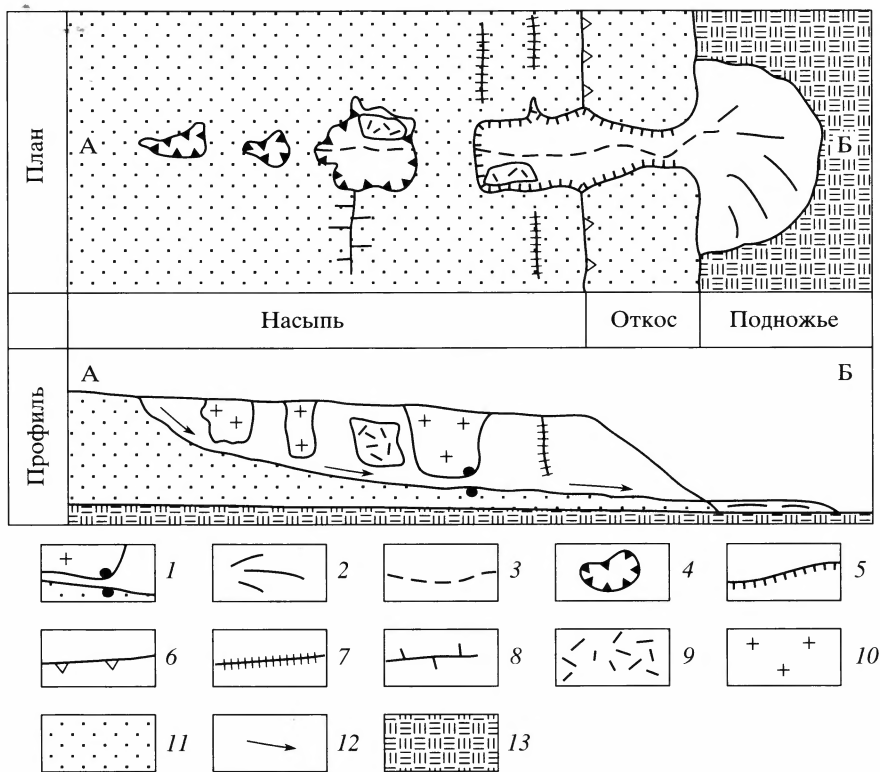


Рис. 6. Суффозионно-эрозионная промоина в теле насыпи

1 – устье суффозионного канала; 2 – конус выноса; 3 – тальвег; бровка: 4 – суффозионного канала, 5 – промоины, 6 – откоса; 7 – трещина отседания; 8 – борозда; 9 – боковой оползень; 10 – перемычка; 11 – грунт насыпи; 12 – перемещение грунта насыпи; 13 – подстигающий грунт

– ветро-волновое динамическое воздействие при обводнении насыпи.

В то же время это и сложность понимания этих процессов, т.к. они не только тесно, но и разноуровенно связаны между собой. Это бывает хорошо заметно на инженерно-геоморфологических планах [6].

Откосы насыпей имеют изначально разную экспозицию: наветренные и подветренные во время обводнения. На подветренных откосах ветро-волновое воздействие слабое, на наветренных положение иное (рис. 7). Здесь, благодаря ветро-волновому воздействию, довольно быстро происходит *подрезка откоса*, и обособление и смещение обособленных блоков грунта. Оно осуществляется тремя способами: *оползание*, *опрокидывание*, *обрушение*.

Таким образом, наветренный откос насыпи трансформируется в абразионный берег – с ясно выраженными береговыми обрывом и отмелью.

Перемещенный грунт откладывается сначала в виде береговой отмели, а при дальнейшем перемещении его волнами от насыпи трансформируется в донные отложения озерной котловины, возвращаясь тем самым в естественное состояние.

### Назначение классификации

Настоящая классификация имеет инженерно-геоморфологический характер. Назначение ее – выработка принципиальных технических решений по стабилизации линейных насыпей. Внедрение ее в практику проектирования – процесс трудный, хотя

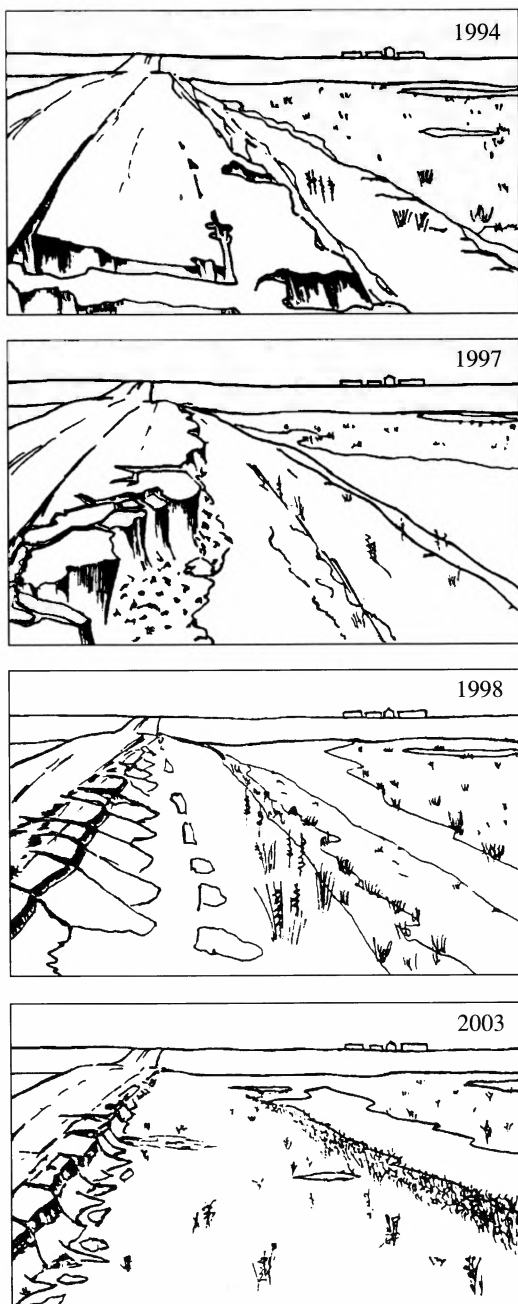


Рис. 7. Изменение морфологии наветренного во время весеннего половодья откоса насыпи, пересекающего озерную котловину (по наблюдениям автора и НТЦ Надымгазпрома)

бы потому, что финансирование таких работ крайне слабое. Поэтому в ходу типовые технические решения, не учитывающие особые геолого-географические условия территории и особенности морфодинамики насыпей.

Соответствию технических решений реальной ситуации на насыпях в значительной степени мешает еще и устаревшее представление о том, что грамотно возведённый

инженерный объект будет находиться в стабильном состоянии. Оно основывается на применении в изысканиях принципа *выбора*. Это означает, что при изысканиях должно выбираться безопасное для объекта место. При нынешнем уровне воздействия на природу таковых практически нет. Поэтому принцип выбора неуклонно трансформируется в принцип *приспособление*. Это значит, что инженерный объект, в том числе насыпь, размещается там, где это необходимо с экономической точки зрения, а затем должен контролироваться периодическими изысканиями, направленными на контроль за развитием морфодинамических процессов и выработку принципиальных технических решений по стабилизации объекта.

Инженерно-геоморфологическое картографирование насыпей [6] и последующий инженерно-геоморфологический анализ показали также принципиальную недостаточность осуществленных при возведении насыпей технических решений по обеспечению устойчивости насыпей. Причиной этого является неочевидность опасности морфодинамических процессов. Они носят катастрофический характер, проявляются суммарно в течение 2–4 недель в году, их буквально “сложно увидеть”. Анализ следов, которые они оставляют, доступен специалистам в области инженерной геоморфологии, но роль таких специалистов умалчается.

В настоящее время в геолого-географических источниках содержится большое количество фактического материала, посвященного проявлению морфодинамических процессов на линейных насыпях Севера Западной Сибири. К сожалению, он разобщен. Значительную роль в диагностике состояния линейных насыпей и характере последующих технических решений по обеспечению их устойчивости может сыграть мониторинг состояния линейных насыпей, однако, несмотря на осознание его необходимости, он фактически не проводится. Для получения наглядных изменений характеристик насыпей приходится пользоваться результатами разрозненных непериодических наблюдений (рис. 7).

Между тем, большой, классифицированный объем информации о морфодинамических процессах на линейных насыпях может использоваться при проектировании автомобильных и железных дорог и других сооружений. Он также может быть основанием для систематизации показателей свойств грунтов, так как ориентированные на непосредственное проявление морфодинамических процессов результаты исследований грунтов станут в значительной степени свободными от вышеназванных трех допущений. В итоге такая синтетическая систематизация вещества, слагающего линейную насыпь и видов его перемещения, морфодинамических процессов, даст возможность создать банк данных о состоянии линейных насыпей и инженерных решениях, направленных на поддержание на них стабильного, соответствующего условиям эксплуатации, состояния.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 2.05.02 – 85. Автомобильные дороги. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 56 с.
2. ВСН 84–89. Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты. М.: Миннефтегазстрой СССР, 1990. 270 с.
3. Изучение инженерно-геокриологических и гидрогеологических условий верхних горизонтов пород в нефтегазоносных районах криолитозоны. Методическое руководство. М.: Недра, 1992. 288 с.
4. Евдокимов В.И. Систематизация морфодинамических процессов на автомобильной дороге с целью диагностики ее состояния // Автомобильные дороги. 2002. Вып. 3. С. 47–55.
5. Воскресенский К.С. Современные рельефообразующие процессы на равнинах Севера России. М.: Изд-во МГУ, 2001. 262 с.
6. Евдокимов В.И. Инженерно-геоморфологическое картографирование // Геоморфология. 2001. № 3. С. 58–67.

Author suggests the classification of morphodynamic processes on the linear embankments in the North of West Siberia. It is based on extremely generalized types of ground movements: downward, lateral, complex. The description and examples are given of embankment morphology changes caused by erosion, suffosion, slope processes and coastal dynamics during floods. The classification aims the engineering-geomorphologic purposes and may be used for the maintenance of embankment stability.

УДК 551.4.438.5:622.2(571.62)

© 2006 г. А.Н. МАХИНОВ, А.Ф. МАХИНОВА

### **ПРЕОБРАЗОВАНИЕ АНТРОПОГЕННОГО РЕЛЬЕФА В РАЙОНАХ РАЗРАБОТОК РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (СЕВЕР ХАБАРОВСКОГО КРАЯ)**

Антропогенный рельеф, созданный в процессе различных видов хозяйственной деятельности, по своим морфологическим и морфометрическим характеристикам обычно резко контрастирует с окружающим ненарушенным рельефом. Он слабо адаптирован к рельефообразующим процессам, господствующим на прилегающих территориях. Поэтому зачастую созданные антропогенной деятельностью неровности земной поверхности интенсивно преобразуются в направлении к восстановлению рельефа, близкого к естественному для данной территории. Однако эти процессы изучены недостаточно, что затрудняет обоснование мероприятий по оптимальной и эффективной рекультивации земель [1, 2].

Разработка россыпных месторождений полезных ископаемых в дальневосточном регионе исторически получила широкое распространение. Несмотря на активный переход в середине 1990-х годов к освоению коренных месторождений, сотни предприятий продолжают вести добычу золота, платины, олова, строительных материалов в долинах рек. В пределах Хабаровского края и Амурской области к настоящему времени объемы промытого песчано-галечного материала и вскрышных пород составляют более 850 млн. тонн, а протяженность нарушенных горными разработками днищ речных долин превышает 5 тыс. км [3].

Горнодобывающая промышленность в северных районах Хабаровского края до конца 1990-х годов была связана, в основном, с разработкой россыпных месторождений золота и платины. В результате проводимых работ наиболее сильные преобразования природных ландшафтов происходили в нижнем ярусе речных долин, включающем русло, пойму, низкие террасы, конусы выноса притоков и пологие шлейфы подножий склонов долин [4]. Естественный рельеф днищ долин подвергался полному уничтожению, замещаясь хаотической поверхностью отвалов, гряд, выемок и карьеров с перепадом высот в первые десятки метров.

Изучение преобразованного антропогенного рельефа проводилось в 1995–2004 гг. в Охотском, Аяно-Майском, Николаевском и им. Полины Осипенко районах Хабаровского края (рис. 1) в долинах рек II–IV порядков на участках разновозрастных разработок россыпных месторождений золота, произведенных, в основном, за последние 5–20 лет.

Исследованные территории расположены в низко- и среднегорных районах с относительной глубиной расчленения 200–500 м. Большинство золотоносных рек имеют хорошо разработанные долины с четко выраженной поймой и низкими террасами.