

---

---

**ПРИРОДНЫЕ  
И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

---

---

УДК 624.131:624.131.543

**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КРИТЕРИЕВ  
ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ В СИСТЕМЕ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА ОПОЛЗНЕВОГО  
ПРОЦЕССА НА БЕРЕГОВЫХ СКЛОНАХ р. МЗЫМТЫ**

© 2015 г. В. И. Осипов, Г. П. Постоев, А. И. Казеев

*Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН,  
Уланский пер., д. 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия. E-mail: opolzen@geoenv.ru*

Поступила в редакцию 23.12.2013 г.

Эффективные защитные мероприятия и организация системы автоматизированного мониторинга за оползневыми деформациями на склонах долины р. Мзымты для обеспечения безопасного функционирования железной дороги “Адлер – горноклиматический курорт Альпика-Сервис” должны базироваться на учете особенностей механизма формирования и развития оползней, а также на учете критериев оползневой опасности. Опасно увеличение скорости смещения оползня до 24 мм/сут и более.

**Ключевые слова:** *оползневая опасность, автоматизированный оползневой мониторинг, механизм оползня, критерии оползневой опасности, скорость смещения, экстензометр, инклинометр, долина р. Мзымта.*

## ВВЕДЕНИЕ

Оползневой процесс – один из самых распространенных геомеханических процессов. Существуют проблемы как строительства сооружений на оползнеопасной территории, так и своевременного предупреждения об опасной активизации оползней при эксплуатации сооружений в зоне их воздействия. Несмотря на рост наших знаний об оползневом процессе, причинах и закономерностях образования и развития оползней на склонах, совершенствование математического аппарата и возможности проведения сложных математических расчетов на современной компьютерной технике, появление новых технических средств (методов, датчиков, коммуникаций) контроля различных параметров грунтовых массивов оползнеопасных склонов, проблема комплексного определения критического этапа развития оползневой опасности на объекте с угрозой для существующих сооружений по-прежнему чрезвычайно актуальна.

Свой вклад в сложность решения указанной проблемы вносит многотипность оползней, с которой связано разнообразие форм проявления оползней и динамики развития оползневого цикла, включающего период от этапа подготовки и

образования оползня до его катастрофической активизации.

Первичные оползни возникают на ранее устойчивых склонах (откосах), потерявших равновесие в результате длительного процесса изменения напряженно-деформированного состояния грунтового массива при формировании склона, а также под воздействием соответствующих природных или техногенных факторов. Нередко образование первичного оползня происходит в виде проявления разрушительных деформаций (метры и десятки метров). Несомненно, что такие ситуации на урбанизированных территориях должны прогнозироваться и контролироваться для снижения до минимума негативных последствий.

Кроме того, строительные объекты могут находиться на территории с развитием оползней различных типов. Существующие оползневые тела, залегающие на наклонных поверхностях скольжения, могут продолжать перемещение в течение длительного времени, проявляя периодическое ускорение и замедление, вплоть до временной стабилизации. Однако нередко случаи, когда установившийся режим движения оползня переходит в качественно иное развитие процесса:

резко возрастает скорость перемещения оползневых масс.

Совмещенная (железная и автомобильная) дорога Адлер – горноклиматический курорт Альпика-Сервис проходит по долине р. Мзымта. К числу основных процессов, угрожающих функционированию дороги, относятся оползни, многочисленные проявления которых имеются на береговых склонах. В проекте строительства дороги и ряда олимпийских объектов было предусмотрено оборудование системы мониторинга, в том числе с автоматическим контролем за основными параметрами, характеризующими состояние оползневого участка на текущий момент. В данной статье приводится обоснование критериев оползневой опасности для дороги на базе измеряемых параметров в системе автоматизированного мониторинга.

### ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА ТРАССЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Трасса совмещенных автомобильной и железной дорог (САЖД) от Адлера до п. Красная Поляна и далее до станции Альпика-Сервис – важнейшая из транспортных магистралей в инфраструктуре объектов Олимпиады.

Территория, по которой проложена трасса САЖД, находится на южном склоне Главного Кавказского хребта в долине р. Мзымта, преимущественно в ее левобережной части. Трасса пересекает с юго-запада на северо-восток три орографические области: низкогорную Адлер – пос. Красная поляна, среднегорную пос. Красная поляна (ПК 220-225) – устье р. Галион 1-й (ПК 383), высокогорную от устья р. Галион 1-й (ПК 383) до конца трассы в районе курорта “Альпика-Сервис” (ПК 485, р. Ржаная).

В геологическом строении территории принимают участие коренные породы: терригенная, терригенно-вулканогенная, флишевая, терригенно-карбонатная и молассовая формации, и четвертичные отложения, представленные элювиально-делювиальными, делювиальными, оползневыми и делювиально-оползневыми, коллювиально-делювиальными, делювиально-пролювиальными, пролювиальными, аллювиальными, морскими, лагунными и биогенными геологическими комплексами.

В структурно-тектоническом отношении рассматриваемая территория находится на Южном склоне складчато-глыбовой новейшей мегаструк-

туры Большого Кавказа. Имеется серия продольных кавказского простираения складчато-блоковых структур, разделенных системами продольных и поперечных разломов разного ранга, флексурами, надвигами и сбросо-взбросами на более мелкие структуры.

В пределах территории прохождения рассматриваемой трассы были отмечены многочисленные землетрясения силой до 7–8 баллов, а в районе Красной Поляны сейсмичность может достигать 9–10 баллов.

Гидрогеологические условия характеризуются преобладанием в коренных породах трещинных, трещинно-пластовых вод, связанных с зонами экзогенной трещиноватости, трещинно-жильных и трещинно-карстовых вод, приуроченных к зонам тектонических нарушений. Трещинные воды коренных отложений выходят на поверхность в виде мелких источников, иногда пересыхающих в засушливое время года. Глубина залегания трещинных вод составляет от нескольких метров до нескольких десятков метров.

Оползни распространены повсеместно почти по всему левому береговому склону р. Мзымта, к которому в основном примыкает трасса. Активному развитию оползневого процесса способствует высокая степень выветривания коренных пород склоновых массивов в условиях сильного обводнения покровных отложений, их оползания и формирования многочисленных трещин, обнажений.

На основе проведенных исследований и анализа материалов инженерно-геологических изысканий по трассе дороги было выделено девять оползнеопасных участков (рис. 1).

### ТИПЫ СОВРЕМЕННЫХ ОПОЛЗНЕЙ

Установлено, что наиболее распространенный тип оползней в пределах исследуемого района – оползни сдвига-течения, иногда именуемые как вязкопластические (типы 2 и 3, табл. 1).

К оползням сдвига-течения относятся в основном неглубокие (покровные) смещения верхних разуплотненных слоев склонового массива преимущественно в периоды избыточного обводнения. Они могут проявляться в виде:

– перемещения покрова мощностью 2–3 м (по схеме бесконечного откоса) по наклонной плоскости (длина оползня намного превышает его мощность), например, смещение делювиально-элювиальных отложений по наклонной кровле коренных или более прочных пород;



●1 – номер оползнеопасного участка

Рис. 1. Общий вид района строительства трассы железной дороги к горным объектам Сочинской олимпиады.

– оползневого очага типа оплывины; такие проявления часто имеют место в области выхода подземных вод на поверхность склона, при этом наибольшая деформация грунтового массива происходит по верхней границе очага, где образуется относительно крутая стенка срыва; мощность оползня может составлять 3–7 м, высота стенки срыва – до 5 м, размеры оползневого очага порядка (10–40 м) × (50–120 м).

Установлено, что на склоновых участках залегания элювиально-делювиальных отложений,

представленных серыми, синими и бурыми глинами и суглинками с обломками аргиллитов, песчаников, алевролитов и мергелей, в условиях периодического (или постоянного) обводнения в процессе деформирования формируются зоны с упорядоченной структурой – зоны сдвига, с пониженными значениями характеристик прочности пород в их пределах ( $\varphi = 5-7^\circ$ ;  $c = 10-20$  кПа); повсеместно образуются очаги активного оползневого деформирования с характерными морфоэлементами (трещины, мелкобугристый рельеф, деформированные деревья и т.д.).

**Таблица 1.** Основные признаки для распознавания типов оползней

№ п/п	Тип оползня по механизму формирования	Признаки проявления							
		преобладающий силовой фактор формирования – движения оползня	форма в плане	рельеф	характер трещиноватости	стенка срыва	поверхность скольжения у базиса оползня	особенности геологического строения	морфо-элемент в районе базиса оползня
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Сжатия – выдавливания	Давление покровных слоев – верхнего блока	Фронтальная, циркообразная	Ступенчатый, террасовидный	Протяженные трещины	Четко выраженная, крутая протяженная	Горизонтальная	Наличие глинистого грунта на отметках базиса	Вал выпора, сжатия
2	Сдвига – скольжения	Сдвигающие силы по наклонной поверхности скольжения	Очаговая, неопределенного очертания	Ровный или ступенчатый; бугристый, местами с обнаженным ложем	Системы серпообразных трещин	Относительно пологая, невысокая	Наклонная, реже криволинейная	Слабые покровные грунты; наклонная кровля прочных подстилающих грунтов	Вал на-двигания, напользания
3	Разжижения – течения	Фильтрационный поток	Вытянутая, подобно потоку; каплевидная; цирк с узкой горловиной	Мелкобугристый	Многочисленные непротяженные трещины	Крутая, непротяженная, циркообразная	Наклонная и горизонтальная	Относительно слабые водонасыщенные песчано-глинистые грунты	Вал на-пływания; разжиженный поток

Блочные оползни сжатия-выдавливания (тип 1 по табл. 1) могут происходить как в дисперсных грунтах, так и в скальных (полускальных). Основной механизм деформирования данных оползней – раздавливание и блоковое перемещение грунтов на горизонтах склонового массива, давление на которые от веса вышележащих масс (верх склона) превышает структурную прочность на сжатие грунта этого горизонта, а нагрузка склоновых отложений на этот горизонт (низ склона) недостаточна, чтобы противодействовать активному боковому давлению в деформируемом горизонте верхней части склона. Разрушение массивов (отделение, оседание и перемещение) происходит в виде относительно фронтальных (протяженных) блоков с вовлечением в смещение значительных масс склона. Эти оползни имеют мощность оползневых масс до 30 м и более.

Относительно глубокие оползни сжатия-выдавливания можно подразделить на две разновидности (два подтипа).

Тип 1.1. Оползни преимущественно в глинистых грунтах. Пример оползней данного типа – оползни на 8–9 км трассы, которые встречаются ниже существующей автодороги к населенным пунктам Черешня, Ахштырь и местами ее захватывают. Глубина развития деформаций в головной части оползня достигает 20–25 м. Длина по направлению смещения около 60–70 м, базис оползания – пойма р. Мзымта. Развитие оползневых деформаций происходит относительно медленно, без возможных катастрофических активизаций.

Тип 1.2 со сложным механизмом развития оползня: в начальной фазе смещение происходит

**Таблица 2.** Подходы к оценке оползневой опасности

Метод	Параметры	Критерии
Расчеты устойчивости Геофизические методы	$\phi$ и $c$ грунтов параметры геофизического поля (сейсмо-, электро-)	Коэффициент устойчивости $K_{st}$ Аномалии параметров (симптомы активизации)
Критические деформации Критические скорости	$\Delta L$ и $\Delta h$ $V$ , мм/сут	Критические значения (по А.М. Демину) Критические значения

по схеме сжатия-выдавливания, а затем по схеме сдвига. Характерный для данного типа – оползень Медвежий на 47 км трассы. Начальный этап его образования – нарушение равновесия и оседание массивного блока на участке высокого обрывистого берега (высотой до 20–25 м), интенсивно подмываемого р. Мзымта. Образование и перемещение блока происходит преимущественно по механизму сжатия-выдавливания. Затем развитие оползневой процесса продолжается в прогрессирующем режиме вверх по склону в виде глубокого катастрофического сдвижения массива, представленного суглинисто-дресвяными отложениями с включением щебня и глыб коренных пород, по наклонной поверхности на протяжении нескольких сотен метров.

#### АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ КРИТИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ И ВЫБОРУ КРИТЕРИЕВ ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ

Наиболее распространенные подходы к оценке критической ситуации на оползневых склонах представлены в табл. 2.

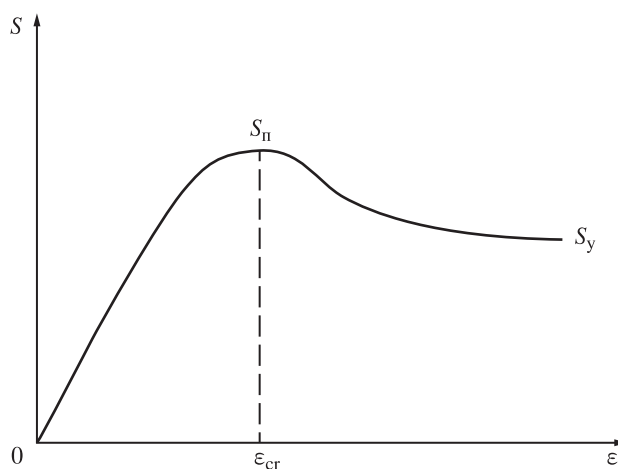
**Расчеты устойчивости склона** – один из наиболее распространенных подходов к оценке его состояния. Принимается, что в предельном состоянии, когда возникает смещение массива, коэффициент устойчивости равен единице, т.е. на момент начала деформаций расчет должен показывать, что сумма сдвигающих сил равна сумме удерживающих.

При отсутствии деформаций устанавливают коэффициент запаса  $K_3$  устойчивости, определяющий относительное превышение удерживающих сил (включая силы сопротивления сдвигу по поверхности скольжения) над сдвигающими.

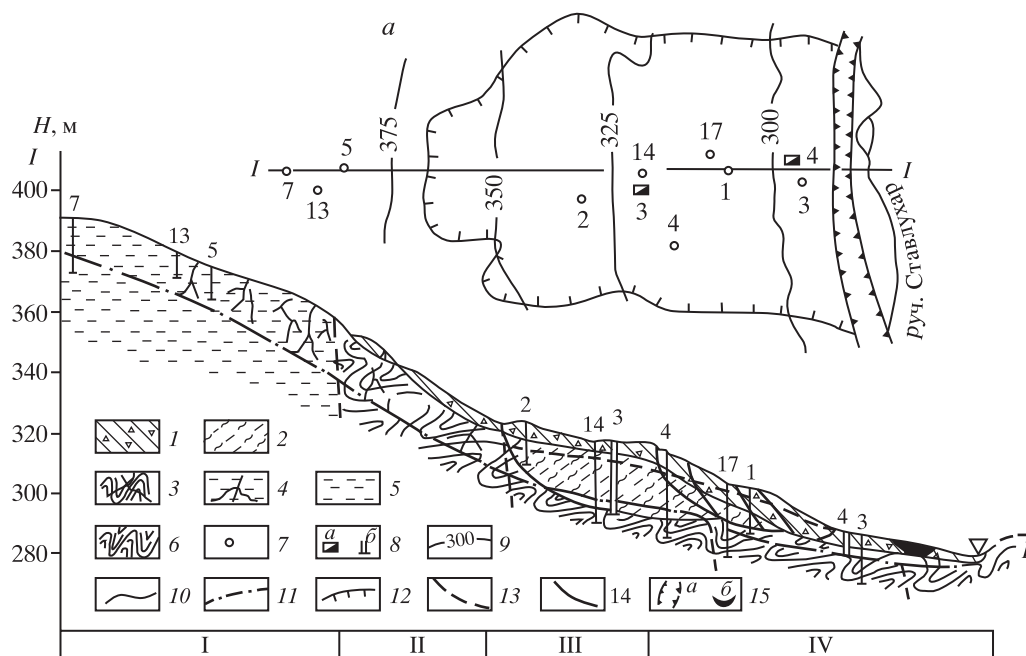
Как правило, расчеты ведутся для склона, где потенциально возможно образование оползня. Рассматриваются условия статики. На склоне, где началось движение грунтов,  $K_3 < 1$ , после этого его состояние в динамичном режиме расчетами не может быть оценено.

Поверхность скольжения оползневой массы – поверхность разрыва сплошности грунтов, исходные свойства которых (при ненарушенном сложении в коренном залегании) существенно изменены. Прочность грунта (сопротивлению сдвигу) снижается в процессе деформирования от пикового  $S_n$  до остаточного  $S_y$  (установившегося) значения (рис. 2). На склонах, где имеются свежие следы оползневых смещений (оползневые очаги, трещины, характерные морфоэлементы: ступени, валы выпирания и пр.) проведение расчетов устойчивости не имеет смысла, так как очевидно, что  $K_3 < 1$ .

Известны предложения по **геофизическому контролю** состояния грунтовых массивов. Применялись электро- и сейсмометрические методы, сейсмоакустические (геоакустические) измерения, наблюдения за естественной электромагнитной эмиссией (ЕИЭМПЗ), георадиолокация (георадары) и др. [4, 6, 7]. Геофизические методы помогают детализировать геологический разрез изучаемого массива. Делались попытки использовать геофизические методы для выявления симптомов активизации оползневой процесса, которые можно было бы использовать в качестве критериев оползневой опасности. Так-



**Рис. 2.** Типичный график изменения прочности  $S$  грунта в зависимости от относительной деформации  $\epsilon$  при испытании грунта на сдвиг с постоянной скоростью деформирования.



**Рис. 3.** Схема размещения разведочных выработок (а) и схематический инженерно-геологический разрез по линии I-I оползня Ставлухар (б) [2]: I – поверхность элювиально-делювиального склона; II – стенка срыва; III–IV – оползневые ступени (III – вторая, IV – первая). 1–2 – оползневые отложения (1 – дресвяно-суглинистые породы, 2 – аргиллиты чешуйчатые, дислоцированные); 3–4 – элювиально-делювиальные породы (аргиллиты: 3 – плитчатые, сильно дислоцированные, 4 – чешуйчатые, выветрелые, рассланцованные); 5–6 – породы средней юры (аргиллиты: 5 – чешуйчатые, дислоцированные, 6 – плитчатые, сильно дислоцированные, гидротермально измененные); 7 – скважина и ее номер; 8 – шурф и его номер (а – на плане, б – на разрезе); 9 – горизонталь рельефа; 10–12 – границы: 10 – литологическая, 11 – элювиальных пород по сейсмическим данным, 12 – оползня; 13 – предполагаемое разрывное нарушение по геофизическим данным; 14 – поверхность скольжения; 15 – отсекающая траншея (а – на плане, б – на разрезе).

же работы проводились на объектах разработки месторождений твердых подземных ископаемых, в основном для контроля устойчивости бортов карьеров [4]. Детальные исследования большого комплекса геофизических методов проведены в процессе выполнения натурного эксперимента по искусственной активизации оползней Жуковка и Ставлухар [7].

В процессе эксперимента на участке Ставлухар исследовались различные состояния оползня – от неподвижного до экстремального со скоростью движения свыше 70 мм/сут. В пределах оползня, на который осуществлялись техногенные воздействия (подрезка нижней части склона, обводнение массива путем закачки воды в трещины, сейсмическое воздействие взрывом заряда ВВ), выделялись две ступени (нижняя и верхняя) (рис. 3).

В основном аномальные изменения геофизических параметров были приурочены к верхней ступени, которая в процессе эксперимента оставалась относительно стабильной, проявлялись лишь начальные признаки активности, фиксируемые комплексом геофизических наблюдений. Данные по нижней (активной) ступени оказались

значительно менее представительными, т.е. исследования показали, что применение геофизических методов для контроля состояния активного оползня и выявления критериев наступления опасного этапа его развития малоэффективно.

**Критические деформации.** Инструментальные наблюдения за процессом деформирования грунтового массива, начиная от стабильного состояния склона (откоса) и кончая его разрушительным движением (обрушением), позволили установить критические значения смещения массива. Такие исследования проводились как в лабораторных условиях с определением для различных грунтов критических деформаций при сдвиге (см. рис. 1), так и на натуральных склонах (откосах).

Профессором А.М. Деминим проанализированы более 400 случаев крупных оползней в карьерах в России и в других странах и обобщены данные инструментальных наблюдений [2]. Им предложены для контроля устойчивости откосов в карьерах два критерия: вертикальная  $h/N$  и горизонтальная  $I/L$  относительные деформации верхней площадки откоса (рис. 4). В процессе нарушения равновесия откоса на верхней

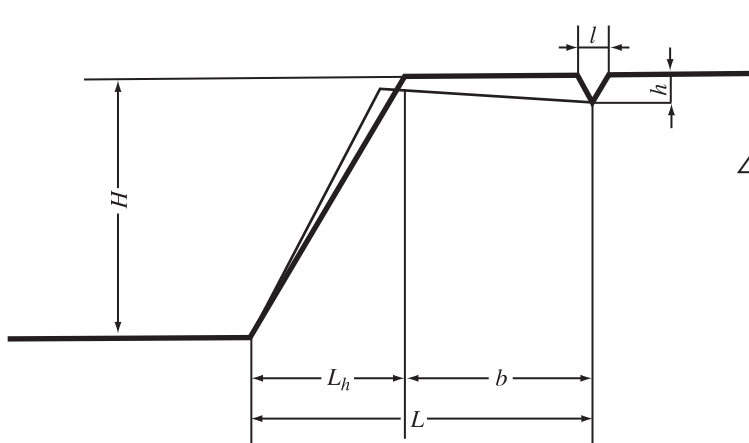


Рис. 4. Схема нарушения равновесия и деформирования откоса (по А.М. Демину [4]).

площадке образуется трещина, часто именуемая как “трещина закола”. Согласно исследованиям А.М. Демина, критические значения деформаций, соответствующие этому моменту (начальная фаза развития оползня), приведены в табл. 3.

На карьерах, а также при образовании глубокого блокового оползня на начальном этапе деформирования откоса преобладают вертикальные составляющие смещения, т.е. оседание формируемого блока с образованием в дальнейшем высокой, почти отвесной “стенки срыва”. Горизонтальные деформации, как следует из табл. 3, имеют значительно меньшие критические значения (в начальной фазе всего  $1 \cdot 10^{-3}$ ).

Критическая фаза, по А.М. Демину, предшествует “сходу” оползня, т.е. интенсивному его смещению. При высоте откоса 50 м критическая “накопленная” величина смещения по вертикали находится в пределах  $h = 0.5\text{--}3.3$  м (см. табл. 3). По данным А.М. Демина, предельные деформации, соответствующие моменту схода оползня, имеют больший диапазон:  $(h/H) \cdot 10^3 = 20\text{--}150$ ;  $(l/L) \cdot 10^3 = 11\text{--}70$ .

Подход к оценке оползневой опасности по критическим деформациям вполне оправдан применительно к бортам карьеров. Известно исходное (нулевое) устойчивое состояние массива, которое изменяется в процессе переформирования профиля откоса и подработки при добыче твердого полезного ископаемого. Измеряя смещение деформируемого откоса, маркшейдерская служба может контролировать приближение критической ситуации по предложенным критериям  $h/H$  и  $l/L$ .

На природных склонах, на которых в течение многих лет формировались оползни различных типов, а наблюдения начинаются на промежуточном этапе развития оползневой опасности, оценка

опасного состояния по достижению какого-то значения смещения весьма затруднительна и проблематична. Например, в Ульяновске на оползневом склоне по оси проектируемого мостового перехода в период изысканий были установлены три скважинных экстензометра. За 12 лет (с 1993 по 2005 г.) два из них, расположенные в теле оползня, показали, что происходит смещение по поверхности скольжения на глубине 10 м, причем за период наблюдений перемещение составило 2–2.5 м, со средней скоростью в отдельные периоды до 26.8 мм/мес. В то же время по верхнему экстензометру, расположенному на 50 м выше границы оползневого очага, смещение за контрольный период не превысило 0.2 м. В настоящее время построенный автодорожный мост через р. Волгу продолжает успешно функционировать.

Известны также многочисленные случаи, когда смещения составляли метры ежегодно (этап развития незатухающих деформаций с постоянной скоростью) и катастрофическое обрушение не происходило.

**Критические скорости смещения.** Развитие оползневых смещений на склоне может быть представлено графиком (рис. 5) в координатах: смещение – время.

Этап I характеризует возникновение (активизацию) оползневых смещений на склоне с затухающей скоростью деформирования, но с ростом

Таблица 3. Критические значения деформаций по А.М. Демину [2]

Критерии	Начальная фаза	Критическая фаза
$(h/H) \cdot 10^3$	2–9	10–66
$(l/L) \cdot 10^3$	1	2–4

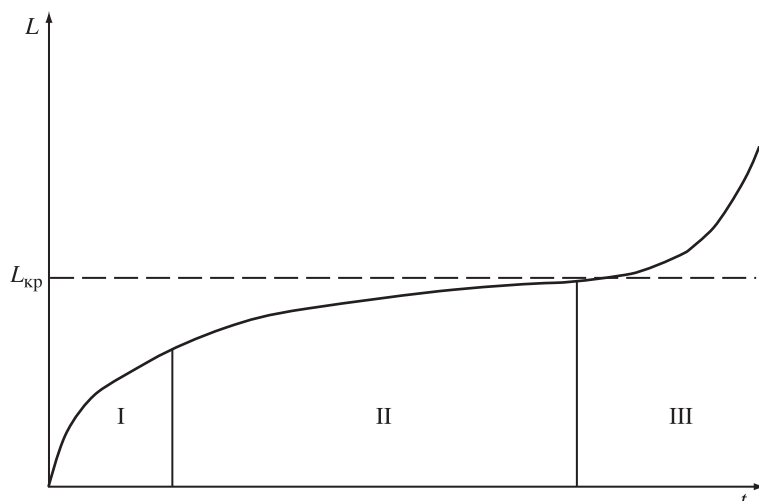


Рис. 5. График развития оползневых деформаций.

накопленной величины подвижки. На этапе II происходит перемещение по образованной поверхности скольжения. Этот этап может занимать продолжительный период времени. Движение оползневой массы происходит с почти постоянной скоростью (в многолетнем режиме, с возможным увеличением интенсивности смещения, например в сезоны повышенного обводнения), характерной для установившейся ползучести. Для этапа III (разрушительного смещения массива) характерно ускоренное движение с возрастающей скоростью смещения (прогрессирующая ползучесть). Граница между этапами II и III определяет критическое состояние (критерий экстремальности  $K_c$  по В.В. Каякину [3]).

Режим развития оползневых деформаций во времени, критические значения подвижек и скорости смещения сильно различаются в зависимости от типа оползня, реальных инженерно-геологических условий, масштаба и этапа развития оползневой деформации.

Следует иметь в виду, что в период активного развития оползневых деформаций форс-мажорные обстоятельства (например, аномальное воздействие какого-либо фактора) могут привести к прогрессирующему развитию оползневой деформации и возникновению опасной ситуации для сооружений, находящихся в зоне воздействия оползня.

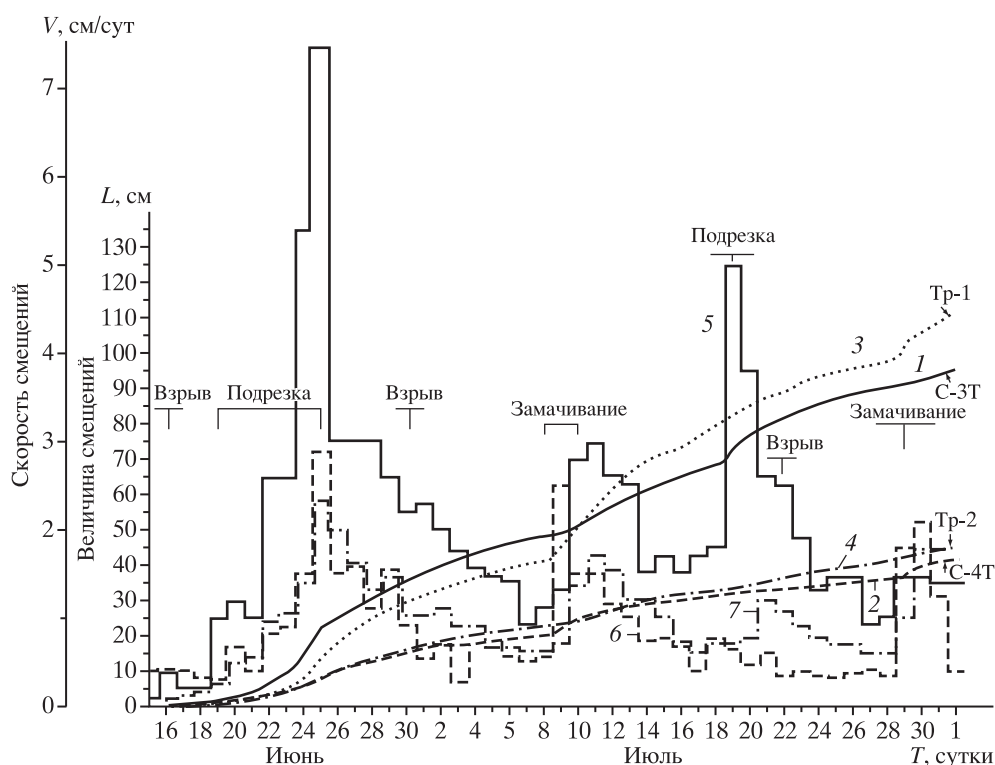
В горном деле при ведении работ в карьерах на деформирующихся бортах скорость 1–2 мм/сут считается допустимой, если процесс затухает во времени [5, 9]. При постоянной скорости смещения значения 3–4 мм/сут, иногда до 10 мм/сут, могут считаться предельными, определяющими

начало прогрессирующего смещения. Однако отмечается, что среднее значение 4 мм/сут не всегда является критическим, а также что критическая скорость смещения должна быть в 3–4 раза выше значения скорости установившейся ползучести. Вместе с тем последние значения на конкретных объектах изменяются в достаточно широких пределах. Так, на разрезе “Кумертауский” (Башкортостан) скорость установившейся ползучести составила 9 мм/сут, на оползневых склонах Киргизии – 15–20 мм/сут на рабочем борту разреза “Ангренский” (Узбекистан) – 20 мм/сут [9].

По наблюдениям за смещением оползня на Загорской ГАЭС, согласно графику, представленному в работе [3], начальная скорость этапа повышения интенсивности смещения составляла около 1.5 мм/сут. Максимальная скорость в течение 195 сут с приращением почти 0.1 мм/сут за сутки достигла значения 19 мм/сут (точка  $K_c$  по В.В. Каякину). Затем, после осуществления защитных мероприятий, произошло затухание скорости смещения до безопасного уровня. Причем при продолжении свободного деформирования через год прогнозировалось “обрушение” [3].

Как упоминалось выше, в 1982 г. был проведен натурный эксперимент по искусственной активизации оползня Ставлухар в Крыму. Техногенные воздействия не вызывали активизации смещений (рис. 6) даже для нижней активной части склона. Катастрофического смещения оползня не произошло, что возможно, в первую очередь, связано с тем, что активизация оползневой деформации не распространилась вверх по склону. Даже тыловая часть нижней ступени была существенно менее





**Рис. 6.** Графики изменения величин ( $L$ ) и скоростей ( $V$ ) смещения оползня Ставлухар по экстензометрическим точкам контроля в период искусственной активизации оползня [2].

активной по сравнению с фронтальной ее частью у отсекающей траншеи, не говоря уж о верхней ступени оползня.

По существу, судя по графику на рис. 6, опасная ситуация имела место лишь 25 июня, одни сутки, когда можно было бы прогнозировать дальнейшее увеличение скорости смещения с переходом в “обрушение”. Следует отметить, что визуально качественные изменения в состоянии оползневой склона не проявлялись.

Таким образом, параметр – скорость смещения достаточно полно характеризует состояние оползня в процессе движения. Однако анализ результатов наблюдений за перемещениями оползней как в многолетнем естественном режиме, так и при проведении натурных экспериментов по искусственной активизации оползневой процесса показал, что возрастание скорости смещения оползня (или отдельных его частей) до весьма значительных значений ( $>70$  мм/сут) может и не привести к катастрофическому обрушению.

Но следует отметить, что смещение оползня с высокой скоростью создает опасную ситуацию, так как последующие возможные исходы (обрушение или замедление процесса) часто бывают трудно определимы.

**Анализ изменений условий развития оползня в процессе его движения.** Выше уже указывалось, что в процессе деформирования грунта его прочность снижается до установившегося значения. Более того, многократные подвижки существующих оползневых тел приводят к образованию по поверхности скольжения характерной гидратной пленки [8], которая стабилизирует сопротивление сдвигу на остаточном уровне, мало зависящее от первоначальной прочности грунта.

Даже в скальных грунтах по поверхности скольжения нередко образуется так называемая “глинка трения”, толщина которой может составлять десятки сантиметров [1]. Этот специфический глинистый прослой также обеспечивает продолжительные подвижки (установившаяся ползучесть) в соответствии с этапом II на рис. 5.

Сопротивление сдвигу по поверхности скольжения – слабо изменчивый параметр, и поэтому увязка состояния оползня с возможными изменениями параметров прочности грунта “с” и “ $\phi$ ” не может являться способом нахождения критериев опасности.

Однако аномальное обводнение или сейсмическое воздействие могут привести через изменение напряженного состояния к существенной акти-

визации оползневого процесса. При аномальном обводнении склона возникают гидростатическое и гидродинамическое давления, которые способствуют увеличению сдвигающих сил. Быстрый подъем уровня подземных вод вызывает восходящую фильтрацию (фильтрационное давление), эффект “всплывания” оползневых масс. То же самое нередко наблюдается при сейсмическом воздействии. Известен факт, когда в результате землетрясения произошло уплотнение грунтовых масс и, как следствие, вытеснение и подъем грунтовых вод. При этом восходящая фильтрация вызвала аномальное снижение несущей способности грунтовых оснований сооружений, и многие многоэтажные дома попадали (эффект “всплывания”) вследствие образования неравномерных просадок фундаментов. При землетрясении возможно и возникновение очага разжиженного грунта, особенно на территориях распространения макропористых лессовидных грунтов. Вследствие восходящей фильтрации разрушается исходная структура, образуется цилиндрический очаг осевшего разжиженного грунта, который через возникшую узкую горловину в виде катастрофического потока нередко устремляется вниз по склону.

Одним из важнейших факторов активизации оползневого процесса является вовлечение в смещение дополнительно к существующему оползневому телу, обычно в тыловой части, нового массива пород. Катастрофическая фаза развития глубокого блокового оползня (тип “сжатия-выдавливания”) начинается, когда в верхней части оползневого цирка формируется новый оползневой блок. Блок оседает (иногда со скоростью 4–20 м/сут) по крутой криволинейной поверхности, близкой к круглоцилиндрической, и перемещается с повышенной скоростью и существующий оползневой массив в очаге. Новый блок имеет преимущественно вертикальную составляющую смещения, отделяясь от коренного массива, но тело оползня при этом в плане сдвигается на десятки метров.

Активизация оползней сдвига-скольжения (перемещение оползневого массива по наклонной поверхности скольжения) нередко начинается из-за подмыва и обрушения нижней части склона. При этом исчезает естественный контрфорс (подпор), происходит регрессивное развитие оползневого процесса вверх по склону и разрушительное смещение оползневых масс с образованием объемного массива из перемятых грунтов у подошвы склона (по типу оползня Медвежий на р. Мзымта).

Активизация оползней сдвига-скольжения может произойти также вследствие нарушения равновесия и “обрушения” откоса в верхней части существующего активного оползневого тела. Смещение последнего может вызвать подсечки ранее устойчивого грунтового массива и его переход в ускоренное смещение, в которое вовлекается и ниже расположенное существующее тело оползня. На относительно крутых участках склона (уклон поверхности скольжения 20° и выше) развитие оползневого процесса может приобрести опасный разрушительный характер с разгрузкой движущихся масс в речную долину.

Покровные оползни, захватывающие верхнюю часть разреза, в основном до глубины 3–4 м, могут распространяться на значительную площадь, присоединяя новые участки к боковым и верхним границам оползневого склона. Поверхность скольжения, как правило, повторяет уклоны рельефа, образуя (по расчетной схеме) так называемый прислоненный откос (по Г.М. Шахуняццу). При этом на пологих участках склона может происходить накопление смещающихся масс, которые на более крутых могут переходить в более быстрое движение с возможностью в виде сплыва “разгрузиться” на площадку у низа склона.

Исследования показали, что на оползневых склонах, где смещения оползневого тела (оползневых тел) происходят в течение относительно длительного времени с периодическими колебаниями интенсивности смещения, одним из основных факторов повышения скорости смещения до опасного уровня может быть вовлечение в оползневой процесс новых грунтовых массивов, у верхних и боковых границ активного оползня. В результате увеличения размеров оползня его развитие может приобрести катастрофический (по скорости и величинам смещений) характер.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТНОГО МОНИТОРИНГА НА ОПОЛЗНЕВОМ УЧАСТКЕ ТРАССЫ

Территория проведения опытного мониторинга располагается на пикетах ПК466–ПК467 запроектированной железной дороги “Адлер – Альпика-Сервис”.

В геоморфологическом отношении участок приурочен к нижней прирусловой части левого борта долины р. Мзымта. Рельеф участка классифицируется как горный, сильно расчлененный. Крутизна склонов изменяется от 20–30° до 50° и более. В пределах участка работы абсолютные отметки составляют около 511 м (русло р. Мзымта)

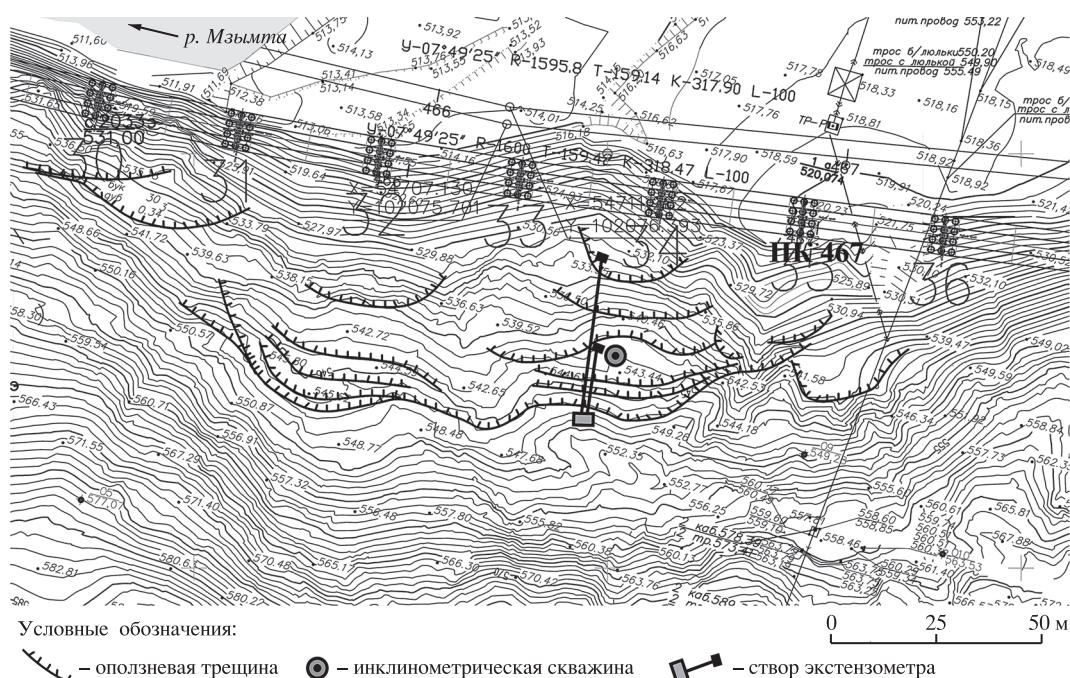


Рис. 7. Схема наблюдательной сети на левобережном оползневом склоне р. Мзымта на ПК466-ПК467, напротив п. Эсто-Садок.

до 550 м (грунтовая дорога непосредственно над оползневым участком). Аллювиальные террасы на левобережье р. Мзымта в пределах рассматриваемого участка отсутствуют.

Геологический разрез склоновой территории непосредственно на участке работ (ПК466–ПК467 трассы) представлен достаточно мощной толщей (более 40 м) аргиллитоподобных глинистых сланцев юрского возраста (эстосадоцкая свита  $J_{1es}$ ), в верхней части сильно выветрелых (до состояния вязкопластичной глины), раздробленных, очень низкой прочности. Для нижнеюрских отложений характерно падение в южном и юго-западном направлениях с углами 20–60°.

В верхней части разреза на коренных юрских отложениях залегают четвертичные элювиально-делювиальные глины и суглинки от серого до черного цвета, различной консистенции (тугопластичные, твердые), с большим количеством щебня, мощностью до 5 м.

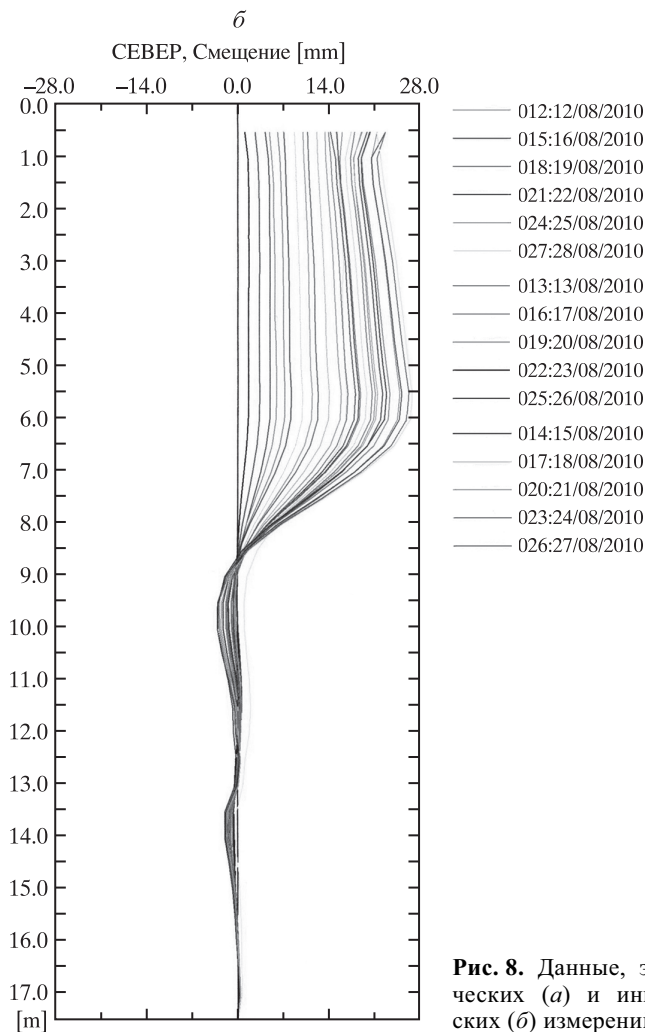
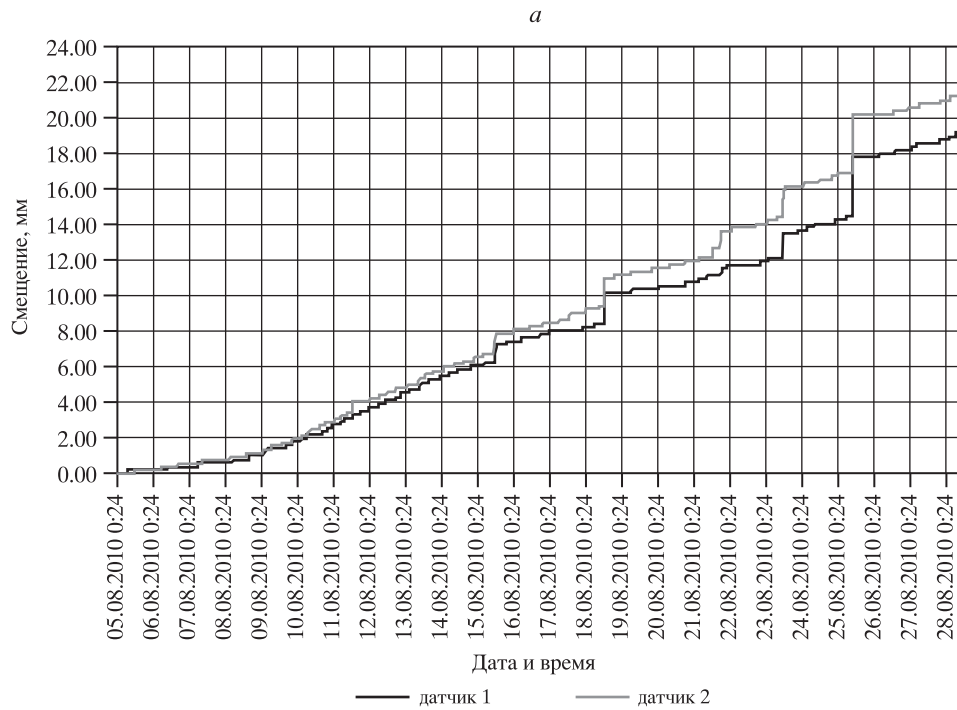
Оползневые образования, развитые как по оси запроектированной трассы, так и на прилегающих к ней участках, практически полностью перекрывают левый борт долины р. Мзымты и представлены суглинками и глинами (с различной степенью влажности и консистенцией) от серых до черных с содержанием дресвы и щебня аргиллитов и песчаников до 25–30%, встречающихся в коренном залегании выше по склону.

Грунтовые воды залегают на отметках 3.5–4.5 м, насыщая разуплотненную выветрелую часть юрских сланцев и обуславливая их вязкопластичное деформирование. Толща аргиллитов существенно обводнена.

На склоне видны проявления активного оползневого смещения в виде многочисленных оползневых трещин на оползневом массиве, свежей растущей трещины закола, локальных оползневых очагов в нижней части склона, “пьяный лес”.

Схема наблюдательной сети, оборудованной ИГЭ РАН, представлена на рис. 7. Как установлено в результате анализа данных мониторинга, наиболее информативные методы контроля развития оползневых смещений на участке – экстензометрический створ и инклинометрические измерения в скважине. Экстензометр и инклинометр – основные средства наблюдения, позволяющие контролировать развитие оползневых деформаций с высокой точностью.

Экстензометр УДС (универсальный датчик смещения), разработанный ИГЭ РАН (руководитель работ А.А. Гинзбург), предназначен для измерения линейного перемещения грунта (оползневых деформаций), накопления полученной информации и передачи ее по запросам в информационный центр, например, по каналу GSM связи. Чувствительность измерений (цена



**Рис. 8.** Данные, экстензометрических (а) и инклинометрических (б) измерений.

младшего разряда выходных данных) составляет  $0.2 \pm 0.005$  мм. Высокоточные инклинометрические наблюдения позволяют определить глубину поверхности скольжения и проследить динамику оползневых смещений.

Инклинометрический зонд используется для измерения угла отклонения ствола скважины. Пробуренная до проектной глубины скважина обсаживается специализированной обсадной инклинометрической трубой, в которой ведутся измерения при помощи инклинометрического зонда. Точность примененного инклинометра (итальянский инклинометр фирмы SISGEO) составляет  $\pm 4$  мм на 30 м.

По инклинометрическим измерениям суммарная подвижка за период наблюдений составила 24.7 мм за период 31.07–28.08.2010 г. (рис. 8). Поверхность скольжения оползня установлена на глубине 7.0 м. По экстензометру УДС-2 (длинная база) общая подвижка составила 22.4 мм за период 5.08–28.08.2010 г.

Учитывая одинаковую продолжительность периода наблюдений и возможное отклонение от осевого створа оползня траншеи экстензометрического створа, можно отметить почти полное совпадение результатов наблюдений обоими методами.

Скорость смещений составляла 1–1.2 мм/сут. В дальнейшем были проведены инклинометрические измерения в течение полугода по 14 скважинам, расположенным на различных участках трассы. Результаты по скорости смещения не превысили значений, полученных на опорном участке.

В конечном итоге данные мониторинга должны характеризовать текущее состояние контролируемого оползневой участка с оценкой близости его к критическому значению.

Результаты проведенных исследований показали, что наиболее информативные параметры, определяющие состояние активного оползня и характеризующие его динамику, в том числе этап прогрессирующей опасной активизации, – значения величин и скорости смещения грунтовых массивов, глубина развития оползневых деформаций (положение поверхности скольжения в разрезе) и распространение активных смещений по площади контролируемой склоновой территории.

В соответствии с исследованным режимом смещения активного оползня на участке трассы САЖД “Адлер – Альпика-Сервис” предложены

критерии оползневой опасности для сооружений трассы на базе измерения скорости смещения и распространения (захвата новых объемов грунтовых масс) оползневых деформаций по площади и по глубине. В качестве основных методов мониторинга рекомендованы экстензометрические створы (измерения подвижек в автоматическом режиме) и инклинометрия (измерения по скважинам в режиме посещения).

По скорости смещения контролируемых точек рекомендованы следующие критерии:

$V < 4$  мм/сут – неопасное состояние (зеленый сигнал);

$4 \leq V < 24$  мм/сут – опасное состояние (желтый сигнал);

$V \geq 24$  мм/сут – весьма опасное состояние (красный сигнал).

Кроме того, предусматривается контроль развития оползня по площади участка и по глубине (мощности) оползневых массивов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гулакян К.А., Кюнцель В.В., Постоев Г.П. Механизм и динамика оползневой процесса на примере оползня в Зеравшанской долине // Матер. научн.-практ. сов. по вопросам методики и прогноза селей, обвалов и оползней. Душанбе, 1970. С. 59–65.
2. Демин А.М. Оценка оползневой опасности по критическим деформациям // Тр. юбилейной конф., посвященной 50-летию РОМГГиФ “Российская геотехника – шаг в 21 век”. Москва, 15–16 марта 2007 г. М.: РОМГГиФ, 2007. Т. 2. С. 324–328.
3. Каякин В.В., Мулина А.В., Парабучев И.А. Критерии безопасности природных и техноприродных процессов // Сергеевские чтения. Вып. 9. М.: ГЕОС, 2007. С. 206–211.
4. Лукьянов А.Н., Иоффе А.М., Клименко А.И. Методы контроля устойчивости бортов карьера “Мурунтау” // Горный журнал. 1997. № 1. С. 30–32.
5. Методические указания по определению углов наклонов бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. Л.: ВНИМИ, 1972.
6. Монахов В.В., Овчинников В.И., Урусова А.В. Возможности и перспектива применения геофизических методов для диагностики земляного полотна железных дорог // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации земляного полотна и искусственных сооружений. Тр. второй научн.-техн. конф. М.: МИИТ, 2005. С. 76–78.
7. Постоев Г.П., Ерыш И.Ф., Саломатин В.Н. и др. Искусственная активизация оползней. М.: Недра, 1989. 134 с.

8. Постоев Г.П., Лапочкин Б.К., Казеев А.И. Опыт изучения оползневых деформаций на линиях магистральных трубопроводов // Геозкология. 2010. № 6. С. 532–543.
9. Пушкарев В.И., Колесатова О.С. Оценка и контроль деформирующихся бортов карьера “Юбилейный” // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. № 9. С. 278–282.

## SUBSTANTIATION OF LANDSLIDE HAZARD CRITERIA IN THE AUTOMATED SYSTEM FOR LANDSLIDE MONITORING ON THE MZYMTA RIVER SLOPES

**V. I. Osipov, G. P. Postev, A. I. Kazeev**

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences  
Ulanskii per. 13, bld. 2, Moscow, 101000 Russia. E-mail: opolzen@geoenv.ru*

Effective protective measures and the arrangement of automatic monitoring system of landslide deformations on the slopes of Mzymta river valley for ensuring the safe functioning of the “Adler – Alpika-Service” railway should take into account the specific mechanism of landslide development, as well as the landslide hazard criteria. Acceleration of landslide motion over 24 mm/day poses danger to engineering structure.

**Keywords:** *landslide hazard, automated landslide monitoring, landslide mechanism, landslide hazard criteria, displacement speed, extensometer, inclinometer, Mzymta River valley*