

УДК 551.4.042

## ОПОЛЗНИ НА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГЕ М-7 «ВОЛГА» (МОСКВА – КАЗАНЬ, 583–584 КМ) В ПРАВОБЕРЕЖЬЕ Р. СУРА В ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Петров Н. Ф., Павлов А. Н., Никонорова И. В., Яковлев Е. Ю., Александров А. Н.

ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова», Чебоксары, Россия (428015, Чебоксары, Московский пр., д. 15), e-mail: [petrovnf@gmail.com](mailto:petrovnf@gmail.com), [niko-inna@yandex.ru](mailto:niko-inna@yandex.ru)

Проведен анализ компонентов природно-технической среды (грунтовые, геоморфологические, структурно-тектонические, гидрогеологические, экзодинамические, техногенные) – факторов оползневой неустойчивости дорожного полотна федеральной автодороги М-7 «Волга» и сформулированы выводы об основных причинах деформации автодороги. Ими оказались породы коренной основы – юрские глины, слагающие весь склон в интервале отметок от 140 м (плато) до 70 м (русло р. Сура) и деформированные оползнями различных типов, подземные воды, формирующиеся в пределах плато и разгружающиеся в оползневые накопления, поддерживая в них высокую влажность, структура оползневых систем из множества оползней различных порядков и возраста, чрезмерные нагрузки на головные блоки давнеоползневых ярусов. В качестве стабилизирующих мероприятий предложены удерживающие конструкции, контрбанкетты, снятие нагрузок с активных блоков, водопонижение.

Ключевые слова: головной блок, деформация дорожного полотна, активный и пассивный оползни, оползневый ярус, оценка устойчивости склона, расчетная модель, структурно-функциональная модель, структурные элементы оползневой системы – блок, ярус, этаж.

## LANDSLIDES ON THE ROAD M-7 "VOLGA" (MOSCOW – KAZAN, 583–584 KM) ON THE RIGHT BANK SURA IN THE CHUVASH REPUBLIC

Petrov N. F., Pavlov A. N., Nikonorova I. V., Yakovlev E. YU., Alexandrov A. N.

Chuvash State University named after I. N. Ulyanov, Cheboksary, Russia (428015, Cheboksary, Moskovsky Prospekt, 15), e-mail: [petrovnf@gmail.com](mailto:petrovnf@gmail.com), [niko-inna@yandex.ru](mailto:niko-inna@yandex.ru)

The analysis of the components of the natural and technical environment (groundwater, geomorphology, structural-tectonic, hydrogeological, exodynamic, technological), which were the factors of the landslide instability of the roadway of the federal highway M-7 "Volga". Formulate conclusions about the main causes deformation of the road. They were native breed foundation - Jurassic clay composing the whole slope in the range of elevations from 140 m (plateau) to 70 m (channel r. Sura) and deformed landslide types. The following factors - groundwater formed within the plateau and unloaded in the landslide accumulation, supporting them in the high humidity, then - the structure of sliding systems of many landslides of various orders and ages, and overburdening of headunits of ancient landslide tiers. As stabilizing measures are proposed retaining structures, concrete slope stabilization, lifting loads with active units, dewatering.

Keywords: head unit of landslide, deformation of the roadway, the active and passive landslides, landslide tier, slope stability assessment, simulation model, the structural-functional model, the structural elements of the landslide – block, floor, tier.

**Введение.** Автодорога М-7 «Волга» обеспечивает экономические и административные связи Центрального и Приволжского федерального округов. Она начала функционировать с 50-ых годов прошлого века как дорога «Москва – Пекин». На Сурском спуске данной дороги первые признаки деформаций дорожного полотна стали возникать, вероятно, в начале 80-ых годов. С тех пор дорога неоднократно выходила из строя, особенно в весенние периоды. При ремонтных работах 2011 г. выяснилось, что за счет многочисленных ремонтов общая мощность асфальтового покрытия здесь местами достигла 2–3 м. Деформации дорожного полотна приводили к разрыву асфальтового покрытия, высота уступов достигала 0,2–0,3 м. Реконструкция дороги М-7 "Волга" под параметры I категории

началась в 2009 году, завершить планируется в 2018 году. Но участок длиной 0,2 км между ПК40 и ПК42 с очагами активных оползней заставил выполнить здесь дополнительные более углубленные исследования причин деформаций для разработки противооползневых мероприятий (ПОМ), что и послужило материалом для данной статьи.

**1. Рельеф и геоморфологические особенности.** Рассматриваемый участок оползневого склона долины р. Сура располагается в северной части Приволжской возвышенности на стыке Горьковско-Мордовского и Чувашского плато, границей между которыми является река Сура. Геоморфологически – это верхняя часть правого давнеоползневого склона высотой до 100 м. Старые приостановившиеся оползни прослеживаются здесь на протяжении 600–700 м от бровки приводораздельного плато до русла р. Сура и турбазы «Сурские Зори». Активные оползни в верхней половине склона следуют на протяжении 150–200 м. При относительной высоте склона до 105 м и заложении 840 м средняя крутизна около  $7,0^\circ$ , а от тылового шва головного блока до русла реки от  $6,5$  до  $5,8^\circ$ .

Исследуемый участок федеральной автодороги М-7 расположен в 1,5 км северо-восточнее существующего моста через р. Сура. Он представлен склоном крутизной около  $11\text{--}12^\circ$  высотой 30–32 м, с отметками поверхности 154–158 м на плато и 124 м и менее – ниже языка оползневой системы. После оползнеобразования крутизна склона уменьшилась до  $8\text{--}9^\circ$ . Современный рельеф участка сформировался под влиянием эрозионных и сопутствующих им процессов, происходивших на фоне неотектонических восходящих движений в плиоцен-четвертичное время.

Специализированной оползневой съемкой в пределах участка склона выявлено четыре давнеоползневые системы (ярусы) первого и второго порядка (рис.1). На фоне давнеоползневых ярусов появился ряд новых сложных оползней с языками выпирания, сформировавшиеся в результате хозяйственной деятельности человека и повлекшие за собой аварийное состояние автодороги на протяжении около 200 м. В результате деятельности комплекса геологических процессов на участке сформировалось несколько геоморфологических типов рельефа, значительно отличающиеся инженерно-геологическими условиями [5]:

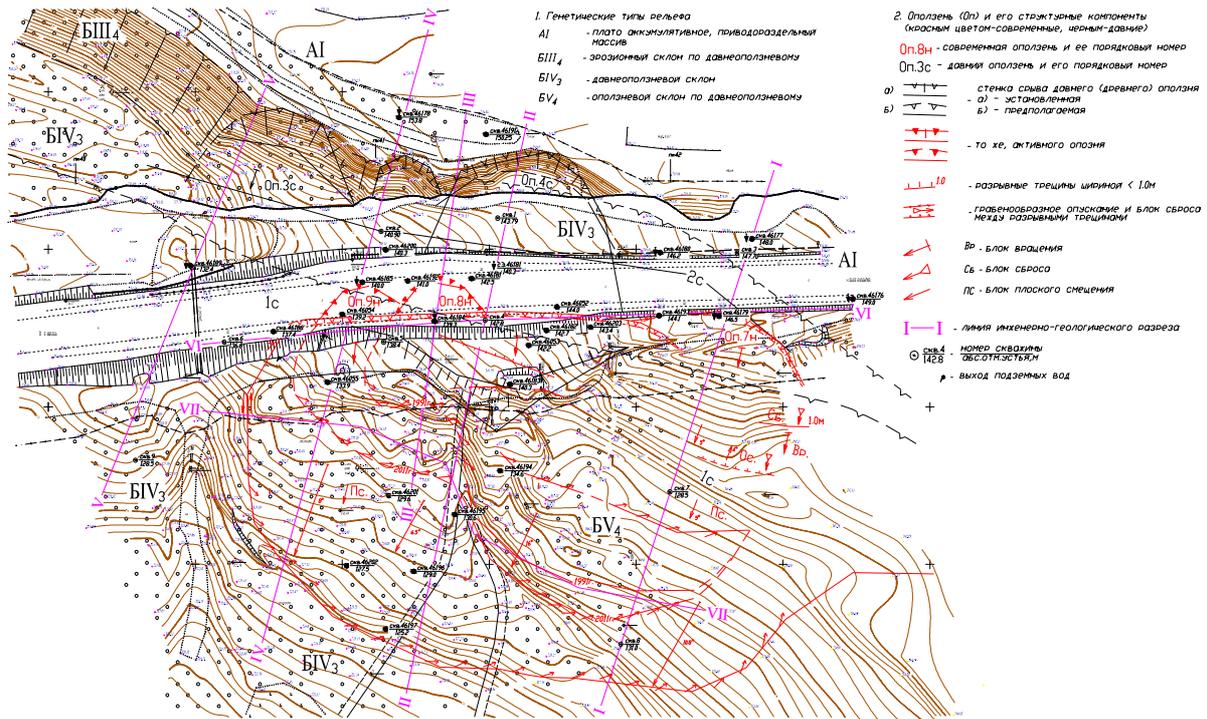


Рис. 1. Фрагмент карты-схемы типизации склонов и опасных геологических процессов

Тип AI – приводораздельное аккумулятивное плато с отметкой поверхности 150–155 м. Он характеризуется недеформированными коренными породами средней и верхней юры (келловей, оксфорд и кимеридж нерасчленённые), перекрытыми мощной толщей покровных (в основном перигляциальных) отложений (суглинков).

Тип BIII<sub>4</sub> – эрозионный склон (уступ) в пределах главной стенки срыва оползневых систем (2с и 1с). Высота до 20 м, крутизна до 30°. Сложенный суглинками склон поражен местами разновозрастными оползнями 2-го и 3-го порядков (3с, 4с и др.), головные блоки которых сохранились севернее полотна автодороги.

Тип BIV<sub>3</sub> – давнеоползневой склон, формировавшийся в голоцене за счет эрозионной деятельности р. Сура и занимающий большую часть правого склона долины ниже активных оползней вплоть до пойменной террасы р. Сура. К данному типу относятся и фрагменты давнеоползневой склона, примыкающего к стенке срыва (BIII<sub>4</sub>). В их пределах признаки активных деформаций не наблюдались.

Тип BV<sub>4</sub> – оползневой склон преимущественно техногенный, сформировавшийся в верхней части давнеоползневой склона в процессе эксплуатации автодороги.

**2. Геологическое строение.** Рассматриваемый участок расположен в северной части Токмовского свода Волго-Камской антеклизы. Геологическое строение исследуемого участка дороги изучено в интервале отметок 154–117 м на глубину 8–20 м. Для водораздельного плато характерно субгоризонтальное залегание коренных средне-верхнеюрских пород с общим уклоном их поверхности на северо-запад от р. Сура с

отметками от 143,0 м до 137,0 м. На плато под почвенно-растительным слоем мощностью 0,4 м залегают покровные делювиальные суглинки (dQIII-IV), подстилаемые лессовыми суглинками (rgIII) мощностью от 2 до 14 м.

Для давнеоползневого склона долины р. Сура характерно ступенчато-волнистое залегание кровли средне-верхнеюрских толщ, в которых формировались оползни скольжения и течения. К настоящему времени они в основном стабилизировались за счет общего выполаживания склона до  $6^{\circ}$ , ослабления эрозионной деятельности реки в связи с подпором водохранилища и, возможно, сплошного облесения. В целом значительная часть исследуемого участка склона сложена современными оползневymi накоплениями. Их мощность составляет 2–3 м в языковых частях новых оползней и до 10–16 м в пределах головных частей старых оползней. Насыпь автодороги слагают техногенные грунты, представленные глинами и суглинками различной консистенции и песками глинистыми, заполняющими выемки под проезжей частью автодороги. Максимальная мощность насыпных грунтов (песков) в западной части трассы до 11 м (ПК40+13). Данные грунты располагаются на головных частях давних и современных (8н, 9н) оползней.

**3. Гидрогеологические условия** в разрезе плато характеризуются наличием одного безнапорного водоносного горизонта с режимом грунтовых вод. Он приурочен к подошве покровных лессовидных суглинков и к кровле средне-верхнеюрских глин, а также к современным оползневymi образованиям. В коренных отложениях на глубинах 8–10 м встречаются спорадические линзовидные водоносные горизонты. Уровень подземных вод на период бурения (март 2012 г.) установлен на водораздельном плато на глубине 10–11 м (отметки 142–143 м), в пределах оползневого и давнеоползневого склонов в оползневymi накоплениях – на глубине 5,0 м (в 1991 г. – на глубине 1,5–2,0 м). На южной обочине дорожного полотна и ниже дорожного полотна – 2-3 м в западной части дорожного полотна и 1,0 м и менее – в восточной части. В деформированных глубокими оползнями (оползни 1с и 2с) юрских глинах, ниже активных оползней, спорадически встречаются водоносные линзы с напорными (до 3,0 м) водами. Питание водоносного горизонта (ВГ) происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков и притока подземных вод со стороны плато. Разгружаются подземные воды в долину р. Сура. Воды пресные, гидрокарбонатно-кальциевые, жесткие, не агрессивные.

Таким образом, оползневой участок автодороги приурочен к зоне разгрузки ВГ, к переувлажненным оползневymi образованиям – глинам и суглинкам. Водоупор из юрских пород располагается в пределах плато на отметках от 142 м до 139–137 м, а поверхность ВГ – на отметках от 147–145 м до 142–140 м. Дренаживание ВГ на склон осуществляется, несмотря на то, что поверхность водоупора падает в западном, в северо-западном

направлении, а поверхность склона – в южном. В связи с этим мощность ВГ увеличивается вглубь плато до 10 м, а в зоне дренирования на склоне – сокращается до 1,5–2,0 м.

**4. Экзогеодинамические условия** определяются в основном давнеоползевым характером склона, наличием на участке разновозрастных оползней трех-четырех порядков, находящихся в различных состояниях по активности и устойчивости. Другие процессы в настоящее время значительной роли не играют.

Исследования позволили выделить в пределах участка не менее девяти отдельных оползней (рис.1), играющих различную роль в состоянии склона и дороги. Строение некоторых из них показано на разрезе (рис.2), а их геометрические параметры – в табл.1.

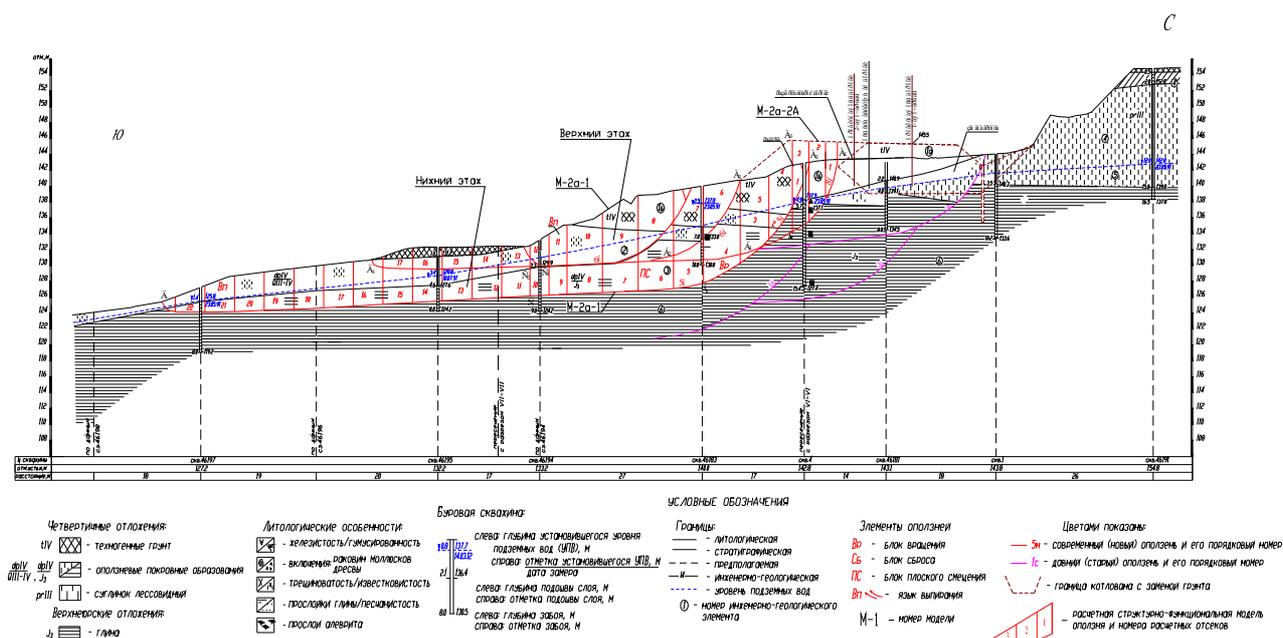


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез II-II, структурно-функциональные расчетные модели оползней

**Таблица 1. Геометрические параметры оползней различных порядков (ПК40-ПК42)**

№ оп.	Порядок и механизм оползня	Относительный возраст	Высота стенки срыва, м	Длина оползневого яруса, м	Ширина, м	Мощность, м	Объем, м <sup>3</sup> Название
1с	1-го порядка. Выдавливание и скольжение	давний	4 - 5	>200	>300	>15	>900000 (большой)
2с	1-го порядка. Скольжение	давний	10-12	56-60	165	>15	>151000 (большой)
3с	2-го порядка. Скольжение	давний	6-8	45	>70	>10	>31500 (средний)
4с	2-го порядка. Скольжение	давний	6	60	75	6-10	36000 (средний)
5н	3-го порядка. Скольжение	активный	0,5-1,0	110	185	От 6 до 12	162800 (большой)
6н	3-го порядка. Пластическое течение	активный	1,0-1,5	80-90	150	От 4 до 10	102000 (большой)
7н	4-го порядка. Скольжение вращательное	активный	1,0	20	50	До 10	10000 (средний)

8н	4-го порядка. Механизм аналогичный	активный	До 2,0	12	25	7-10	2400 (небольш.)
9н	4-го порядка. Механизм аналогичный	активный	До 0,3	10	20	8-10	1800 (небольш.)

Оползни 1с и 2с отнесены к оползням 1-го порядка, оползни 3с и 4с – к оползням 2-го порядка, оползни 5н и 6н – к оползням третьего порядка и оползни 7н - 9н – к оползням 4-го порядка. Оползни 1-го порядка (1с и 2с) - фронтальные, и их головные блоки сложены мощной (более 10 м) толщиной покровных суглинков. Причем, оползень 2с образовался на стенке срыва оползня 1с и служит дополнительным головным блоком последнего, образуя с ним единый оползневой ярус. Их глубина захвата превышает 15 м. Они являются первичными и слагают значительную часть оползневого склона долины р. Суры. Данная оползневая система признана стабильной. Основным фактором их возможной активизации можно считать оживление при определенных условиях эрозионной деятельности р. Сура. Следует заметить, что у основания склона имеется защищающая его от эрозии пойменная терраса.

Оползни 2-го порядка 3 с и 4 с сформировались в пределах стенки срыва оползней 1-го порядка 2с. Это – оползни скольжения с головными блоками вращения. Они локальные, циркообразные и также давние, стабилизировавшиеся. Амплитуда смещения оползня 4 с около 8 м, а оползня 3 с превышает 10 м. Об их устойчивости говорят столетние дубы на их стенках срывов и отсутствие каких-либо признаков деформаций даже после значительных подрезок их фронтальных частей при подготовке трассы новой дороги первой очереди строительства. Судя по разрезу II–II, при строительстве старой дороги подрезками были спровоцированы подвижки грунтов, которые стабилизировались после возведения дорожной насыпи. Тем не менее сохраняется возможность активизации локальных оползней уже при строительстве дороги 1-ой очереди и подкюветных дренажей глубиной заложения более 5,0 м от поверхности дороги.

Оползни 3-го (5н, 6н) и 4-го (7н–9н) порядков активные, современные, локальные, техногенные, связаны со строительством и эксплуатацией дороги на оползневом склоне без надлежащего выполнения противооползневых мероприятий с учетом возрастания нагрузок на дорогу, в том числе и вибрационных. В целом, все активные оползни приурочены к зоне сочленения оползней 1-го порядка. Оползни 5н и 6н образуют единую двухэтажную систему с общей стенкой срыва, следующей по южной обочине дороги, и с двумя языками. У них различная глубина захвата (до 14 и 10 м соответственно) и различная длина (55–70 и 110 м, рис. 2).

Оползни 7н–9н небольшие, локальные, циркообразные в плане. Они возникли в пределах стенки срыва активного оползня 5н. Именно они разрывают асфальтовое покрытие по всей ширине старой автодороги и являлись объектами постоянных ремонтных работ. Эти оползни стали важными объектами настоящих исследований.

**5. Расчеты устойчивости склонов и откосов.** Методология расчета устойчивости и обоснования противооползневых мероприятий в соответствии с [1, 2, 3–5, 6–8, 9, 10] свелась к следующим операциям: 1) В пределах системы активных оползней намечены наиболее опасные направления смещения с максимальными параметрами оползней (длина, мощность и др.), пересекающими основные оползневые тела, нуждающиеся в стабилизации; 2) По этим направлениям расположены горно-буровые выработки и построены пять продольных и два поперечных разреза. Из них два разреза (II–II и III–III) выбраны для составления кинематических расчетных схем (моделей) и на них выполнены расчеты устойчивости; 3) Для удобства расчетов методом «прислоненного откоса» полученные блоки в оползневых ярусах делят на вспомогательные части – отсеки перпендикулярными гранями. Длина отсеков в пределах блоков вращения – 2–3 м, а в пределах блоков поверхностного смещения – до 6,0 м, но всегда меньше мощности оползневого тела. Границы блоков служат и границами отсеков. В пределах блоков отсеки включают однородные участки по форме поверхности смещения и дневной поверхности, по составу и состоянию пород, по гидрогеологическим особенностям и др.; 4) Геометрические параметры отсеков и расчетные характеристики грунтов, слагающих эти отсеки, вводились в расчетную таблицу. Заполненная таблица исходных данных и расчетная модель (рис.2) – необходимые и достаточные данные для выполнения расчета на персональном компьютере методом «прислоненного откоса» [2, 6–8, 9–10]. 5) В расчетных моделях активных оползней коэффициент устойчивости –  $K_u = 1,0$ . Поэтому расчеты здесь выполнялись не для оценки устойчивости участка дороги в момент изысканий, а для определения остаточной прочности грунтов зоны смещения и расчетного оползневого давления; 6) Расчеты проводились популярным методом «прислоненного откоса», преимущества которого убедительно показаны И. О. Тихвинским [9]. Данный метод относится к группе методов предельного равновесия. Все расчеты проводились с учетом взвешивания и фильтрационного давления.

**6. Выводы и рекомендации.** Установлено, что механизмы и масштабы деформаций элементов автодороги, наблюдавшиеся в последние 20–25 лет, определяются их приуроченностью к оползням различного возраста, к зонам сочленения оползневых блоков различной устойчивости.

Определены естественные факторы оползнеобразования: а) геоморфологические – давнеоползневой склон высотой до 100 м, длиной более 800 м, средней крутизной 7–8 °, с

очагами активных оползней; б) литологические – склон сложен оползневymi накоплениями, деформированными верхнеюрскими глинами и покровными перигляциальными суглинками с низкими прочностными характеристиками; в) гидрогеологические – зона разгрузки фронтального водоносного горизонта грунтового типа, формирующегося у основания толщи суглинков на региональном водоупоре из юрских глин и разгружающегося у основания главной стенки срыва оползней 1-го порядка.

Выявлено, что главной причиной деформаций дороги является ее строительство без соответствующего обоснования и прогноза устойчивости склона при изменении напряженного состояния и гидрогеологических условий при строительстве.

*Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.». Соглашение №14.В37.21.0606.*

### **Список литературы**

1. Гинзбург Л. К. Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости и оползневого давления. Центральное бюро научно-технической информации. – М., 1986.
2. Клименко А. И., Пахомов С. И. Инженерно-геологические расчеты на программируемых калькуляторах. – М.: Недра, 1991. – С.70-95.
3. Петров Н. Ф. К вопросу о строении и механизмах оползневых систем // Инженерные изыскания в строительстве. Материалы Первой Общероссийской конференции изыскательских организаций. Часть II. – М.: ОАО "ПНИИИС", 2006. – С. 147-155.
4. Петров Н. Ф. Многоэтажные оползни в г. Чебоксары: проблемы изучения, оценки устойчивости и стабилизации// Инженерная геология. – 2008. – № 2. – С. 45-48.
5. Петров Н. Ф., Никитина О. В. Составление моделей склонов в строительных целях // Сергеевские чтения. Моделирование при решении геоэкологических задач. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. – М., 2009. – Вып. 11. – С. 305-309.
6. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов // ПНИИИС. – М.: Стройиздат, 1984. – 80 с.
7. СП 11-105-97, части I–V, в том числе часть II: Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно – геологических процессов. – М., 2000.
8. СНиП 22- 02-2003. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от ОВП. Основные положения. – М., 2004.
9. Тимофеева Т. А. О выборе расчетных показателей прочностных свойств глинистых пород и оценка длительной устойчивости склонов // Оползни и борьба с ними. – Кишинев: Штиинца, 1974. – С. 57-60.
10. Тихвинский И. О. О методике оценки устойчивости оползневых склонов // Теоретические основы и методы изучения инженерно-геологических процессов: Труды ин-та ПНИИИС. – М., 1978. – Вып. 56. – С. 20-27.

### **Рецензенты:**

Архипов Ю. Р., д. геогр. н., профессор, профессор кафедры экономической и социальной географии, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары.

Трифонов Г. Ф., к.геол.-мин.н., д.филос.н., профессор, профессор кафедры философии и методологии науки, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары.