

УДК 624.121.537, 624.121.542, 624.131.537, 624.131.542,
624.131.543, 551.590.21

Орлова Н.А.¹, Прасолов А.А.¹, Ягова Н.В.² (1 — Национальный исследовательский Московский государственный строительный институт (НИУ МГСУ), 2 — Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН))

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ, ВЫЗВАННЫХ ГРОЗАМИ И СЛАБОЙ СЕЙСМИЧНОСТЬЮ, НА АКТИВНОСТЬ ОПОЛЗНЕЙ В ПЛАТФОРМЕННЫХ РЕГИОНАХ

*В ходе рассмотрения факторов, влияющих на развитие оползней, выявлена корреляция этих процессов с ранее малоизученными — грозовой и слабой сейсмической активностью. Первая из причин определена через взаимосвязь с солнечной активностью, вторая — через корреляцию активации оползней с удаленной сейсмичностью и триггерного эффекта возникновения процесса. Предлагается создать комплексный геофизический полигон для исследования влияния метеорологических и сейсмических процессов на уровень оползневой активности. **Ключевые слова:** оползни, грозы, базы данных, климат, солнечно-земные связи.*

Orlova N.A.¹, Prasolov A.A.¹, Yagova N.V.² (1 — SRU MSUCE, 2 — PhD in Physico-mathematical sciences, Leading Researcher, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences)

ASSESSMENT OF IMPACT OF MECHANICAL DISTURBANCES CAUSED BY THUNDERSTORMS AND WEAK SEISMICITY ON LANDSLIDES ACTIVITY IN FORM BOARDS

*During the reviewing of factors influencing on landslides' development the correlation of these processes with the less studied of nearby thunderstorms and weak seismic activity was revealed. The first of these reasons is determined through the interrelation with solar activity, while the second one through the correlation of significant displacements of landslides with distant seismicity and on a trigger effect of process appearance. It is proposed to create a comprehensive geophysical testing ground to study the impact of meteorological and seismic processes on the level of landslide activity. **Keywords:** landslides, thunders, database, climate, Sun-Earth relations.*

Введение

Аналізу влияния атмосферных осадков на проявления оползней для различных территорий нашей страны посвящены многие труды ведущих ученых, таких как Емельянова Е.П., 1972, Арешидзе Г.М., 1970, Зарва А.В., 1970, Парецкая М.Н., 1975, Постоев Г.П., 1977., Шеко А.И., 1978., Тихвинский И.О., 1984 и др.

В разные годы приводились примеры корреляций активизации оползней и количества атмосферных осадков [6]. Среди климатических условий особо выделялись следующие факторы, влияющие на оползневую активность: количество осадков в течение дня, недели или месяца, глубина промерзания грунтов в зимнее время года, количество оттаиваний за зимний период, высота снежного покрова, температура воздуха. Для определения факторов, которые могли повлиять на активизацию оползней выделялись также такие факторы, как солнечная активность, и многие исследователи отмечали хорошие корреляционные ряды (Инженерная геология России. Том 2, 2013). В настоящей работе предлагается включить в рассмотрение возможное влияние на поверхностные оползни такие источники деформаций грунта, как акустическое возмущение от ближних гроз и удаленная сейсмичность. В настоящее время существуют многочисленные свидетельства о влиянии сейсмичности на оползни в сейсмоактивных районах [6], при этом сильные землетрясения на расстоянии от оползневых участков, расположенных в ЦФО на расстоянии в 1000–2000 км, фиксируются на Восточно-Европейской платформе в 5–6 баллов согласно картам ОСР-2015, что соответствует ускорениям 0,18–0,44 м/с² согласно ГОСТ Р 57546-2017 и может ускорить сход оползня. При этом работ, посвященных этой теме в литературе, практически нет. Описаны механические напряжения, вызываемые в горных породах [14]. Вместе с тем, нам не удалось обнаружить ни расчетных работ по связи оползней и ближней грозовой активностью, ни описаний длительных рядов наблюдений по этой теме.

Состояние проблемы

Изучение оползнеобразования является важнейшей комплексной задачей для геологов, геодезистов, геодинамиков, строителей и т.д. Ежегодно в мире от последствий активизации оползней количество погибших людей возрастает. Так, статистика, собранная в период с 2004 по 2010 г., насчитывает 2 620 оползней. Число погибших составило — 32 322 человека [12], в 2018 г. при 51 зафиксированных крупных оползнях погибло 148 человек, в 2019 г. — 358.

Оценка риска по всему миру требует наличия высококачественных и точных баз данных по оползневому проявлению. Необходима оценка по определению степени воздействия, масштабов проявления и влияния на хозяйственную деятельность человека. Базы данных постепенно создаются и становятся доступны общественности. Они пополняются на основании космоснимков, отчетов, средств массовой информации и государственного мониторинга. Наиболее крупными и известными мировыми базами данных являются: глобальный каталог NASA Global Landslide Catalogue, международная база данных о катастрофах

the EM-DAT International Disaster Database, the and the Global Fatal Landslide Database (GFLD), на территории нашей страны — ФГУП «Гидроспецгеомониторинг».

Полученные данные используются для пространственно-временного анализа воздействия оползней на хозяйственную деятельность человека и природные компоненты. Так, анализ пространственного распределения оползней показывает, что формирование оползней крайне неоднородно: доминирующей областью на сегодняшний день является Азия, Центральная Америка между югом Мексики и Коста-Рика, в Южной Америке распространение оползней наблюдается вдоль горного хребта Анд от Венесуэлы до Боливии, в Бразилии — в штатах Сан-Паулу и Рио-де-Жанейро, в Восточной Африке, европейских Альпах [8]. В то же время концентрация оползней наблюдается в густонаселенных городских центрах [5, 12], вдоль дорог и на участках, богатых природными ресурсами.

Международная база данных по стихийным бедствиям (EM-DAT) предполагает, что по сравнению с другими стихийными бедствиями на оползни приходится 4,9 % всех стихийных бедствий и 1,3 % всех жертв стихийных бедствий в период с 1990 по 2015 г.; 54 % этих оползней произошли в Азии [9]. Однако независимые исследователи и другие базы данных указывают на то, что EM-DAT недооценивают воздействие оползней на человеческую деятельность. Например, в работе [12] показано, что в период с 2004 по 2010 г. число оползней со смертельными случаями более, чем на порядок и число погибших примерно в 5 раз выше, чем следует из данных EM-DAT. Анализ, приведенный в работе [10] за период с 2007 по 2013 г., дает аналогичную оценку для смертельных оползневых событий (1400 %) и числа погибших (330 %).

В нашей стране оценка оползневой опасности также занижена, так как даже региональный мониторинг оползневой активности носит локальный характер. Так, например, для территории Москвы и Московской области обследуется 5 % оползней, для остальных областей ситуация еще хуже. Происшествия, носящие категорию «чрезвычайная ситуация» (далее — ЧС), не всегда учитываются и оказываются внесены в базу данных, не оповещаются о подобных происшествиях прессой. Вероятно, такое занижение отчетности связано с недооценкой рисков, связанных с оползнями — чаще причина смерти регистрируется в связи с такой опасностью как, например, землетрясение, смерчи, ураганы и др.

Одним из оползнеобразующих факторов, помимо особенностей рельефа и геологического строения, гидрогеологических условий, являются метеоусловия территории, в первую очередь из-за их влияния на обводненность склоновых образований. Именно данному фактору, как основополагающему, предыдущими исследователями придавалась большая значимость, о чем свидетельствуют исследования, проводившиеся по всему миру.

Единым мнением среди ведущих ученых всего мира [8] является затрудненность в увязке климатических условий и активизации оползней из-за изменяющего-

ся климата, сложности прогноза дальнейшего его развития. Репрезентативность может быть проанализирована в случае, если имеются данные наблюдений за развитием оползневых процессов от 30 лет и больше. По [7] различные климатические факторы по-разному влияют на различные типы оползней, что необходимо учитывать при исследовании активизаций оползней.

Тем не менее, всесторонний обзор исследований связи климата и оползней, проведенный в работе [7], показывает, что большинство работ (80 %) устанавливает причинно-следственную связь между изменением климата и оползнями в разных частях планеты. Если не принимать в расчет воздействие сейсмичности на активизацию оползней, но проанализировать базы данных по метеорологическим компонентам, то в ~80 % случаев осадки становятся триггерным фактором. Подобная зависимость особенно хорошо прослеживается для стран Восточной, Южной, Юго-Восточной Азии, Южной и Центральной Америки. Для других стран связь между сезонными осадками и оползнями не столь очевидна. Исследованиям не хватает знаний о связи климата и оползней по целому ряду показателей, и в первую очередь это связано с ограниченным географическим охватом исследований, уменьшением временного масштаба наблюдений за климатом, низкой публикационной активностью, различными климатическими факторами, оказывающими влияние и являющимися приоритетными для различных широт. В настоящее время более пристальное внимание уделяется созданию моделей устойчивости склонов, чем происхождению оползней и сложным взаимодействиям между природными и антропогенными факторами, вызывающими оползневую активность. Существует мнение, что отступление ледников и деградация грунтов вечной мерзлоты увеличат неустойчивость склонов в высокогорных районах в долгосрочной перспективе, и приведут к изменению количества осадков в некоторых регионах. В некоторых работах отмечается низкая достоверность прогнозов активности оползней в умеренных широтах при небольших количествах осадков.

Для территории нашей страны, к сожалению, почти отсутствуют работы, в которых анализировалась бы продолжительная изменчивость климатических условий за длительный период на разных оползневых участках территории России и изучалась бы связь с активизацией оползневых процессов и метеоусловий. Авторами статьи были проанализированы климатические условия и активизация оползневых участков, выявленная на участках Фили-Кунцево и Воробьевы горы, расположенные на территории Москвы за период с 1963 по 2018 г. Оползни в центральной части России формируются в четвертичных приповерхностных отложениях, захватывая глубину 5 м (мелкие оползни согласно СП 420.1325800.2018), поэтому влияние осадков и представляется наиболее очевидным. Также предлагалось выявлять подобную зависимость как соотношение атмосферных осадков и активизировавшиеся проявления оползней, а не количество вновь образованных [1].

Зависимость активизации оползневых процессов от некоторых климатических факторов

Климатические характеристики	Активизация	
	Воробьевы горы	Фили-Кунцево
	Прямые	Прямые
Сумма осадков за год	-0,43	-0,31
Сумма осадков за XI-III месяц	-0,42	-0,19
Сумма осадков за IV месяц	-0,04	0,13
Глубина промерзания	0,16	0,27
Высота снежного покрова	0,17	0,10

Оползни центральной части России, как правило, возникают и активизируются в периоды длительных интенсивных осадков и снеготаяния [1]. Для поверхностных оползней важным фактором является снижение прочности грунтов при увлажнении (даже в зоне аэрации) и последующим увеличением плотности грунтов. Тем не менее, связь с подземными водами, как правило, не прослеживается. Для глубоких оползней более важным является повышение давления воды в порах, приводящее к снижению эффективных напряжений и соответствующему падению в зоне сопротивления сдвигу. Это в значительной степени подтверждается многочисленными данными, показывающими четкую взаимосвязь между активностью оползневых процессов и повышенным увлажнением массива [2, 4].

Некоторые оползни приходят в движение в начале холодного времени года (поздней осенью или в начале зимы). Реже оползни становятся активными в зимний период и проявляют непрерывное движение вплоть до полного оттаивания грунтов. Большинство оползней активируются преимущественно в период таяния снега, когда устанавливается температура воздуха выше нуля и в течение летнего периода. Эти различия в поведении оползневых массивов не могут быть объяснены только колебаниями порового давления и уровнем грунтовых вод в связи с тем, что порой факторы, оказывающие влияние на активизацию склонов, отсутствуют, но деформации продолжаются.

Анализ результатов наблюдений за режимом активизации оползней в разные годы и параметров метео-

условий позволил выявить коэффициенты корреляции (таблица) для оползневых участков Воробьевы горы и Фили-Кунцево, расположенных на территории Москвы, для которых определены зависимости активизации оползневых процессов от некоторых климатических факторов. Были сопоставлены количества сумм осадков за год, за холодный период, за апрель, высота снежного покрова, глубина промерзания в период 1963–2018 гг. с количеством оползнепроявлений. Анализируется образование оползней второго порядка, развитие которых происходит в основном в четвертичных отложениях. Эти оползни оказывают влияние на глубокие оползневые деформации.

Метеорологические данные были предоставлены обсерваторией МГУ, на которой регулярно с 1954 г. ведутся наблюдения: за температурой воздуха, поверхности почвы и грунта, глубиной промерзания грунта, атмосферными явлениями, высотой снежного покрова и т.д. Измерения температуры грунта, в т.ч. промерзание, проводятся на глубинах от 20 до 320 см на двух площадках: под естественным покровом (летом — трава, зимой — трава, снег) и оголенной, очищаемой от травы и снега.

Анализ полученных коэффициентов корреляции показывает, что прямо пропорциональное влияние на активизацию оползней поверхностного типа в большей степени оказывают глубина промерзания и количество осадков за апрель месяц, высота снежного покрова, особенно велико их воздействие для участка Фили-Кунцево.

Включение новых метеорологических данных, учет отдаленной сейсмичности и факторов, косвенно влияющих на погодные условия, таких как уровень солнечной активности, может заметно улучшить согласие измеренных и расчетных значений и позволит сформулировать гипотезы о расширении списков параметров для мониторинга. Так, анализ двухлетнего скользящего среднего по активности оползней на участках Фили-Кунцево показал, что максимумы активаций 1976, 1986 и 2009 годов приходятся на минимумы активности солнечного цикла (рис. 1).

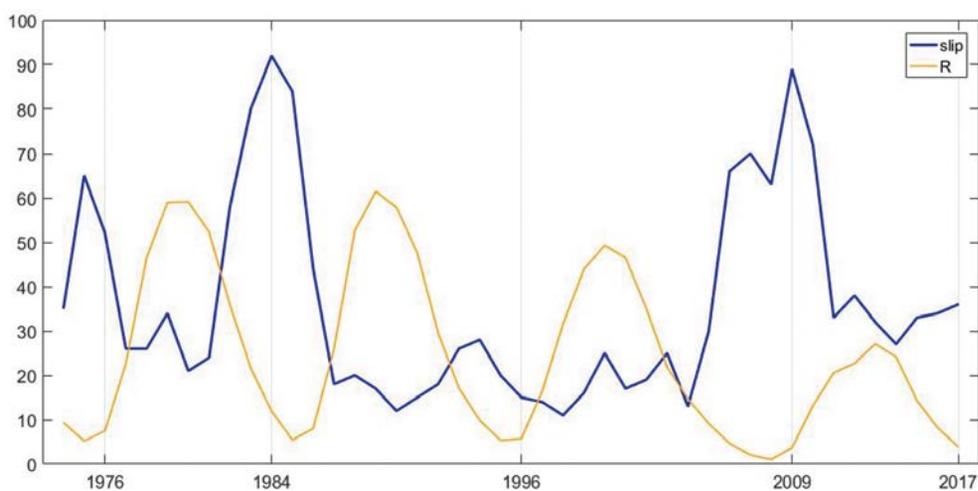


Рис. 1. Взаимосвязь солнечной активности с активизацией на оползневых участках

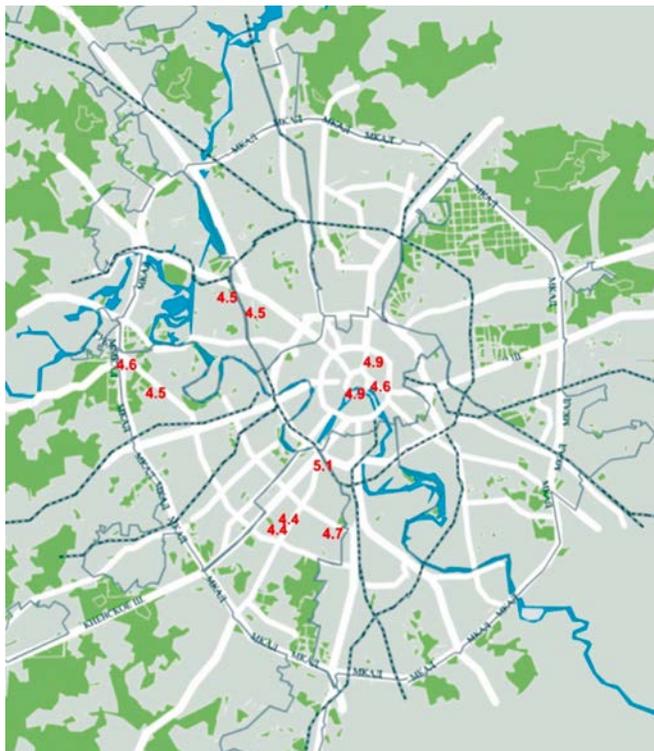


Рис. 2. Карта Москвы с оцененной по скорректированной шкале с учетом длительности колебаний сейсмической интенсивностью при сценарном землетрясении ($M_w=8,0$ в зоне Вранча) (Павленко, 2017)

Это совпадение может быть связано с влиянием солнечной активности на погодные условия. Каналы этой связи активно изучаются [13, 15]. Связь между солнечной активностью, параметрами гелиосферы и атмосферой реализуется в основном за счет двух эффектов: экранирование магнитным полем гелиосферы галактических космических лучей и интенсивностью солнечных космических лучей. Интенсивность космических лучей влияет на проводимость и прозрачность атмосферы [11], что вызывает связанные с циклом солнечной активности колебания в облачности, уровне грозовой активности и т.д. (Tinsley et al., 1989). Эти факторы косвенно влияют как на «классические» параметры, управляющие оползневой активностью, такие как влажность и температура, так и на уровень механических вибраций, связанных с близкими грозами.

Вплоть до последнего времени изучение воздействия гроз на возникновение и развитие оползней не проводилось. Это связано с трудностью отделения воз-

действия непосредственно энергии молнии в направлении предполагаемого оползневого тела и одновременного количества атмосферных осадков. Согласно традиционным представлениям последнее оказывает значительно большее воздействие, что вместе с чисто техническими трудностями переместило изучение гроз как потенциальных триггеров оползневого процесса на второй план.

Однако за счет появления новых волоконно-оптических систем контроля за оползневыми деформациями, работающими за счет изменения времени прохождения электромагнитных волн при изгибе волокна, стало возможно регулирование частоты воздействия от удара молнии [6]. Это позволило определять смещение, вызываемое ударом молнии, от воздействия вследствие выпадения большого количества атмосферных осадков, то есть появилась возможность точно определять влияние инфильтрации дождевых осадков на развитие оползней, а также косвенно рассчитывать грозовую составляющую как разность показателей смещения традиционной автоматизированной системой и волоконно-оптической.

Так, для оползня Магуриси в Южных Карпатах (Румыния) в дни гроз с выпадением атмосферных осадков более 20 мм средние общие смещения оползня вследствие осадков составляли 5–6 мм/сут, в то время как разность смещений между двумя системами, вызываемое грозами, достигало 1 мм/сут [6], что уже является достаточно значимой величиной, которое следует учитывать при инструментальном мониторинге крупных оползнеопасных склонов.

Вторым фактором, возможно влияющим на активность платформенных оползней, является удаленные землетрясения большой магнитуды. Для московского региона — это, прежде всего, землетрясения в зоне Вранча [3]. Особенностью данных воздействий является их низкая частота и большая длительность.

При оценке данных факторов недостаточно использовать только пиковое ускорение, при низкочастотной вибрации (первые, десятки Гц) наиболее

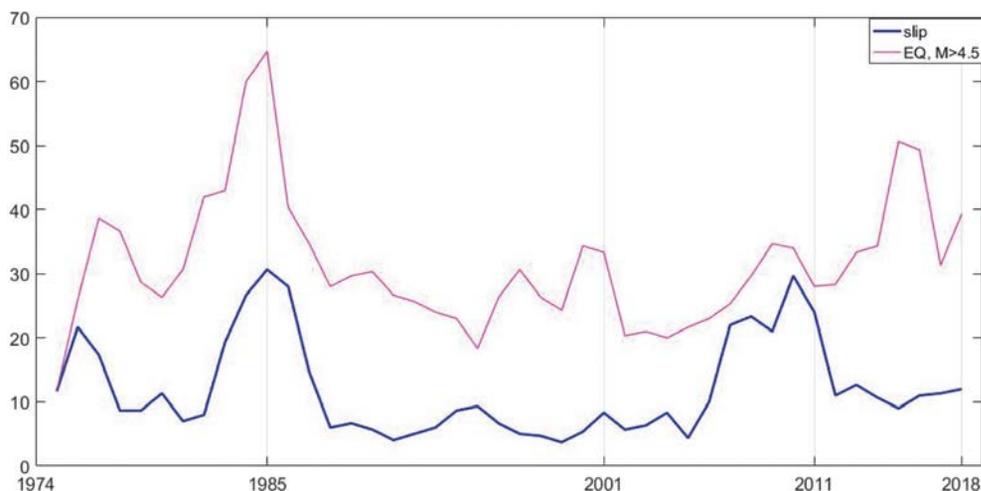


Рис. 3. Сглаженные по двум годам значения активизации оползневых процессов и количества землетрясений

показательным параметром будет являться скорость смещения частиц. Таким образом, данную поправку можно учитывать для преобразованной интенсивности землетрясений. При этом, чем дальше потенциальное сейсмическое воздействие, тем больше сама поправка. В платформенных частях земной коры такая поправка (в частности, для территории Москвы) может превышать 0,5 балла [3], а интенсивность землетрясения для восточной части участка Воробьевых гор будет превышать 5 баллов (рис. 2).

На рис. 3 представлены сглаженные по двум годам значения активизации оползней на рассмотренных выше оползневых участках на территории Москвы — Фили-Кунцево и Воробьевы горы, и аналогичные значения количества землетрясений с $M \geq 4.5$ в квадрате [36:50, 19:36] (первые два числа — границы по широте, вторые по долготе, отобранные по каталогу USGS.gov) за два предыдущих года. При этих параметрах достигается наилучший коэффициент корреляции $C=0,5$.

Обсуждение и выводы

Выявленная на московских оползневых участках периодичность позволяет сформулировать гипотезу о важности ранее не учитываемых факторов на уровень оползневой активности. Преимуществом московских участков является доступность длинного ряда наблюдений. Но одновременно на городских площадках невозможно корректно разделить природные и техногенные факторы. Поэтому оптимальным способом проверки гипотезы было бы выделение оползневой площадки в местности с минимальным уровнем техногенных вибраций, что позволило бы исследовать влияние дополнительных механических факторов, связанных с близкими грозами и удаленной сейсмичностью. Выбор места для площадки, помимо чистоты от техногенных помех, включал бы требование относительно высокой грозовой активности и меньшего, по сравнению с Москвой, расстояния до эпицентров карпатских землетрясений. В настоящее время рассматриваются участки. В то же время на первом этапе отладки мониторинг удобнее проводить в не слишком удаленных от Москвы регионах. Для выбора площадки предполагается исследовать пространственное распределение молниевых разрядов на территории ЦФО и выбрать ближний участок на территории Новой Москвы, Московской, Калужской или Рязанской областей и в более дальней перспективе создать комплексный геофизический полигон для исследования влияния метеорологических и сейсмических процессов на уровень оползневой активности в одном из активных оползневых районов Курской, Липецкой или Орловской областей.

Благодарности: Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ №18-05-00108А (Н. Я.)

ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянова, Е.П. Роль климатических факторов в оползневых процессах / Е.П. Емельянова // Советская геология. — 1958. — № 9.
2. Опыт применения статистического анализа для оценки влияния различных факторов на развитие неглубоких оползней / М.Н. Паррецкая // Тр. ВСЕГИНГЕО — Вып. 103. — 1975.

3. Павленко, О.В. Акселерограммы сценарного землетрясения в г. Москва в пунктах с различными грунтовыми условиями / О.В. Павленко // Вопросы инженерной сейсмологии. — 2017. — № 4. — С. 5–28.
4. Циклическая структура временного поля осадков и использование ее для прогноза / О.А. Дроздов, А.С. Григорьева. — Обнинск: Информ. центр, 1974. — 41 с.
5. Alexander, D.: Urban landslides, Prog. Phys. Geog.-Earth and Environment, 13, 157–189, <https://doi.org/10.1177/030913338901300201>, 1989.
6. Constantin, M. Digital, automated and optical fiber systems used in displacement measurements of landslides in Romania / M. Constantin, K. Fujisawa, K. Ishida, K. Higuchi, M. Vlaicu, M.-C. Jurchescu // Environmental Engineering and Management Journal. — 2013. — V. 12. — P. 2427–2434.
7. Gariano, S.L. Guzzetti, F.: Landslides in a changing climate / S.L. Gariano // Earth-Sci. Rev., 162, 227–252, 2016.
8. Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016 / Melanie J. Froude and David N. Petley. 2018.
9. Guha-Sapir, D. EM-DAT: International Disaster Database / D. Guha-Sapir, R. Below, P. H. Hoyois // Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium, available at: <http://www.emdat.be>, last access: 19 February 2018.
10. Kirschbaum, D. Spatial and temporal analysis of a global landslide catalog / D. Kirschbaum, T. Stanley, Y. Zhou // Geomorphology, 249, 4–15, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.03.016>, 2015.
11. Märzc, F. 1997. Short term changes in atmospheric electricity associated with Forbush decreases / J. Atmos. Sol. Terr. Phys. 59: 975–982.
12. Petley, D.: Global patterns of loss of life from landslides / D. Petley // Geology, 40, 927–930, <https://doi.org/10.1130/G33217.1>, 2012.
13. Roble, R.G. (1985), On solar-terrestrial relationships in atmospheric electricity / R.G. Roble // J. Geophys. Res., 90(D4), 6000–6012, doi:10.1029/JD090iD04p06000.
14. Smirnov, S. Influence of a single lightning discharge on the intensity of an air electric field and acoustic emission of near-surface rocks / S. Smirnov, Yu.V. Marapulets // Solid Earth 3(2):307-311, 2012, DOI: 10.5194/se-3-307-2012
15. Zhrebtsov, G.A. The physical mechanism of the solar variability influence on electrical and climatic characteristics of the troposphere / G.A. Zhrebtsov, V.A. Kovalenko, S.I. Molodykh // Advances in Space Research, 10.1016/j.asr.2005.04.003, 35, 8, (1472–1479), (2005).

© Орлова Н.А., Прасолов А.А., Ягова Н.В., 2020

Орлова Надежда Александровна // iderlit@mail.ru
Прасолов Андрей Александрович // ghfcjkjdfylhtq@yandex.ru
Ягова Надежда Викторовна // nyagova@yandex.ru

УДК 504.05

Долгополова О.Н. (ООО «РН-Ближневосточная компания»)

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ НЕФТЕОТГРУЗОЧНЫХ ТЕРМИНАЛОВ

Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов, которые происходят на объектах добычи и переработки, а также при их транспортировке, наносят вред экологическому состоянию окружающей среды, приводят к существенным убыткам и обладают негативными последствиями социального характера. **Ключевые слова:** аварийные разливы нефтепродуктов, методы ликвидации аварийных разливов нефти, морской нефтеотгрузочный терминал.