

4/2012

ISSN 1997-8669

ГеоРиск



инфектология
Имущественные отношения в России
Федерации
Индоевропейское языкознание
и классическая филология
Инженерная геология
Инженерная физика
Инженерная экология
Инженер-нефтяник
Инженерные изыскания
Инновации

**Решением Президиума Высшей
аттестационной комиссии Минобрнауки России
от 19 февраля 2010 года № 6/6
утверждена новая редакция
Перечня ведущих рецензируемых
научных журналов и изданий**

**В новый перечень включены журналы,
выпускаемые редакцией ОАО «ПНИИС»:**

**«Инженерные изыскания»
«Инженерная геология»
«ГеоРиск»**

**Приглашаем авторов к сотрудничеству.
Научно-технические статьи публикуются
в журналах бесплатно.**

Интеллигенция и мир.
Информационно-технический вестник ВолгГАСУ (электронный)



ТЕРМОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

ОАО «ПНИИС» имеет более чем 20-летний опыт разработки и производства систем измерения температуры грунтов в скважинах при проведении полевых и стационарных исследований для инженерных изысканий в строительстве и мониторинга температурных полей грунтовых оснований инженерных сооружений.

В состав комплекта для измерения температуры грунтов входят:

- измерительный прибор;
- гидроизолированная коса термодатчиков;
- руководство пользователя.

Расположение датчиков и длина косы определяются в соответствии с ГОСТ 25-358-82. Грунты.

Метод полевого определения температуры или заказчиком.



Основные технические характеристики измерительного прибора:

Вес прибора:	0,25 кг
Размеры прибора:	150x70x15 мм
Источник питания:	1 элемент 9В («Крона»)
Потребляемый ток:	2 мА
Температурный диапазон работы прибора:	-50°C : +50°C

Основные технические характеристики косы термодатчиков:

Тип датчика:	терморезистор
Гидроизоляция:	полиэтилен
Номинальное сопротивление датчика:	100 Ом
Диапазон измерения температуры:	-50°C : +50°C
Погрешность измерения температуры:	0,1°C
Тип проводов:	многожильный высокопрочный с полиэтиленовым покрытием

ОАО «Производственный и научно-исследовательский институт
по инженерным изысканиям в строительстве»
Адрес: 105187, Москва, Окружной проезд, д. 18
Телефон: (495) 366-31-89
Сайт: www.pniiis.ru

4	Обзор опасных природных явлений за четвертый квартал 2012 года ШАНИНА В.В.	Оценка опасности и риска формирования селей в северных областях Армении БОЙНАГРЯН В.Р., ГАГИНЯН Р.Х., ДАВТЯН П.Г., БОЙНАГРЯН А.В., МАНУКЯН Н.В.	44
8	Вторая конференция «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита», посвященная 100-летию со дня рождения С.М. Флейшмана ЧЕРНОМОРЕЦ С.С.	Активность селей на территории России и ближнего зарубежья в XXI веке МАЛЬНЕВА И.В., КОНОНОВА Н.К.	48
12	Оценка селевого риска при возможном прорыве завального озера Ак-Кель (Кыргызстан) ТОРГОВЕВ И.А., ХАВЕНИТ Х.-Б., ЕРОХИН С.А.	Лахары на вулкане Пик Сарычева (Курильские острова) при извержении 2009 года и их воздействие на окружающую среду ГРИШИН С.Ю.	56
20	Селевой риск на Черноморском побережье Кавказа ШНЫПАРКОВ А.Л., КОЛТЕРМАНН П.К., СЕЛИВЕРСТОВ Ю.Г., СОКРАТОВ С.А., ПЕРОВ В.Ф.,	Автоматизированная система сбора и передачи данных для целей мониторинга параметров окружающей среды в бассейнах горных рек ЗАМАЙ В.И., ДОБРОВОЛЬСКИЙ Н.С.	64
26	Наполнение и сброс воды из прорывоопасного озера Мерцбахера (Тянь-Шань) КОНОВАЛОВ В.Г.	Опасные экзогенные процессы в долине реки Лъкези КАРАВАЕВ В.А., ВОСКОВА А.В., ИСТОМИНА Е.А.	70
38	Селевые процессы в бассейне реки Мзымта (Западный Кавказ) ВОЛОСУХИН В.А., ТИТОРЕНКО А.И.		

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

БОГДАНОВ М.И. Председатель научно-редакционного совета, генеральный директор ОАО «ПНИИИС», канд. геол.-минерал. наук	СВЯТЕНКО И.Ю. Председатель комиссии Московской городской Думы по безопасности, д.т.н.
ТРОФИМОВ В.Т. Зав. каф. инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова, д-р геол.-минерал. наук	КАЗАКОВ Н.А. Директор Сахалинского филиала Дальневосточного геологического института ДВО РАН, канд. геол.-минерал. наук
ЗАЛИХАНОВ М.Ч. Академик РАН, депутат ГД РФ, председатель подкомитета по устойчивому развитию ГД РФ	МЕЛЬНИКОВ А.В. Член правления АНО «Комплексные инженеринговые и экологические технологии»
ОРЛОВ В.П. Председатель Комитета Совета Федерации по природным ресурсам и охране окружающей среды, канд. геол.-минерал. наук, д-р экон. наук, профессор	ХОМЕНКО В.П. Главный научный сотрудник ОАО «ПНИИИС», д-р геол.-минерал. наук
ДАНИЛОВ-ДАНИЛЬЯН В.И. Член-корреспондент РАН, директор Института водных проблем РАН	ШЕШЕНЯ Н.Л. Заведующий отделом ОАО «ПНИИИС», д-р геол.-минерал. наук
ЗЕРКАЛЬ О.В. Зам. директора филиала «Геоэкологический участок» ОАО «Росгеология» заведующий лабораторией инженерной геодинамики и обоснования инженерной защиты территории геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, канд. геол.-минерал. наук	РАЗУМОВ В.В. Начальник отдела геориска ОАО «ПНИИИС», д-р геогр. наук
	КОРОЛЕВ В.А. Проф. каф. инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д-р геол.-минерал. наук

4	Review of natural hazard events for the fourth quarter of 2012 SHANINA V.V.	44	Estimation of dangers and risks of forming mud-flows in the northern regions of Armenia BOYNAGRYAN V.R., GAGINYAN R.KH., DAVTYAN P.G., BOYNAGRYAN A.V., MANUKYAN N.V.
8	Second Conference on "Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection", dedicated to 100th anniversary of S.M. Fleishman CHERNOMORETS S.S.	56	Mudflow activity in the territory of Russia and neighboring countries in the 21 century MALNEVA I.V., KONONOVA N.K.
12	Debris flow risk assessment for possible outburst of the Ak-Kel Lake (Kyrgyzstan) TORGOEV I.A., HAVENITH H.-B., EROKHIN S.A.	64	Lahars on the Sarychev Peak volcano (the Kuril Islands) during the 2009 eruption and their impact on the environment GRISHIN S.YU.
20	Debris flows risk in the Caucasian Black Sea coastal zone SHNYPARKOV A.L., KOLTERMANN P.K., SELIVERSTOV YU.G., SOKRATOV S.A., PEROV V.F.	70	An automated system of data acquisition and transmission for the purposes of environmental parameters monitoring in mountain river basins ZAMAI V.I., DOBROVOLSKY N.S.
26	Filling-up and release of water from the outburst dangerous Merzbacher Lake (Tien-Shan) KONOVALOV V.G.		Dangerous exogenic processes in the Lkezy River valley KARAVAEV V.A., VOSKOVA A.V., ISTOMINA E.A.
38	Mudflow processes in the Mzymta river basin (the Western Caucasus) VOLOSUHIN V.A., TITORENKO A.I.		

РЕДАКЦИЯ

Ананко Виктор

главный редактор
info@geomark.ru

Аптикаева Галина

литературный редактор

Борисов Владимир

руководитель сектора подписки и распространения
borisov@geomark.ru

Федотова Татьяна, Исайкина Ольга, Бабенцева Ольга

сектор подписки и распространения
pr@pniis.ru

Кашин Дмитрий

руководитель рекламного сектора
kashin@geomark.ru

Стрелкова Ольга

рекламный сектор
strelkova@geomark.ru

Шатулин Александр

художник

105187, Москва, Окружной проезд, д. 18

Тел.: +7 (495) 366-2684, 366-2095,

факс: +7 (495) 366-2684

e-mail: info@geomark.ru

Редакция может не разделять точку зрения автора.

За содержание рекламных материалов редакция
ответственности не несет.

Подписано в печать 17.12.2012. Тираж 1000 экз.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС 77-48920 от 20 марта 2012 г.

Цена свободная. © ООО «Геомаркетинг»

По вопросам подписки обращайтесь в редакцию.

Подписной индекс ОАО Агентства «Роспечать» 71510.

**Подписные индексы в объединенном каталоге
«Пресса России» : 42192 (полугодовой), 42193 (годовой).**

ОБЗОР ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ ЗА ЧЕТВЕРТЫЙ КВАРТАЛ 2012 ГОДА

В ХРОНОЛОГИЧЕСКОМ ПОРЯДКЕ

(по материалам информационных агентств)

REVIEW OF NATURAL HAZARD EVENTS FOR THE FOURTH QUARTER OF 2012

(based on materials of information agencies)

ШАНИНА В.В.

Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, viosha@mail.ru

SHANINA V.V.

The faculty of geology of M.V. Lomonosov Moscow State University

Наводнения в ЮАР

В середине октября 2012 г. на юго-восточную часть государства Южно-Африканская Республика обрушились проливные дожди, которые вызвали образование большого числа наводнений. Погибло восемь человек. Еще в начале выпадения обильных осадков власти организовали мероприятия по эвакуации более тысячи человек из мест, представляющих опасность для жизни. Наибольший ущерб был нанесен городам Порт-Элизабет, Грэхэмстаун и Ист-Лондон. Власти приняли решение закрыть автодорогу, соединяющую данные населенные пункты, принимая во внимание обрушение значительной части дорожного полотна, а также затопление трассы. Согласно подсчетам экспертов на возобновление функционирования дороги потребуются несколько месяцев.



<http://survincity.ru>



www.vseneprostotak.ru

Сель в Перу

18 октября 2012 г. на небольшое поселение Эль-Парвенир, расположенное на севере Перу в департаменте Сан-Мартин, сошел сель, спровоцированный затяжными дождями. Погибло 11 человек, включая 5 детей, 10 жителей объявлены без вести пропавшими. Уничтожены 24 жилые постройки.



<http://planeta.moy.su>

Наводнение в Индонезии

21 октября 2012 г. в Индонезии в провинции Папуа в результате прошедших сильных дождей вышла из берегов река Эраноули, воды которой затопили деревню в районе Паньяа. В населенном пункте зафиксировали подъем уровня воды до двухметровой отметки, чтобы спастись, жителям пришлось перебираться на расположенные неподалеку возвышенности. Было разрушено более 200 жилых зданий, а также ряд сооружений общественного назначения, получила повреждения система подачи чистой воды.



<http://ecocollaps.ru>

Тайфун «Сон-Тинх»

27 октября 2012 г. на южно-китайскую провинцию Хайнань обрушился тайфун «Сон-Тинх» («Горный бог»), ставший 23 тайфуном в этом регионе за год. Скорость ветра достигала 40 м/с, радиус ураганных ветров составлял 110 км от центра. Количество осадков в некоторых районах превысило 300 мм. Один человек погиб, шестеро объявлены пропавшими без вести, пострадали 1,26 млн человек. Властями была организована эвакуация 52 тыс. человек. Разрушены и повреждены около 2 тыс. домов. Пострадали 44,7 тыс. га сельхозугодий. Шесть судов затонули, еще 70 считаются пропавшими без вести в результате вызванного тайфуном наводнения в дельте реки Бейлунь на границе Китая и Вьетнама. По данным агентства Синьхуа, провинция понесла экономический ущерб, исчисляемый 1 млрд юаней, или 159 млн долл. США.



news.xinhuanet.com



<http://spaceref.com>



<http://survincity.ru>

Наводнение в Буэнос-Айресе

28 октября 2012 г. проливной дождь стал причиной наводнения в столице Аргентины. Дождь, продолжавшийся в течение 6 часов, привел к выпадению 87,4 мм осадков. Большинство городских улиц были затоплены, местами уровень воды достигал метровой отметки. Власти остановили движение на пяти из семи линий метро Буэнос-Айреса. Ситуацию усугубила забастовка коммунальных служб — около недели в жилых кварталах не вывозили мусор, который забил дренажные системы. Погиб 65-летний мужчина, пытавшийся спасти телевизор в затопленном доме. Спасателям пришлось эвакуировать около 20 человек из южного пригорода — Кильмеса.



<http://theinspirationroom.com>

Ураган «Сэнди»

29 октября 2012 г. ураган «Сэнди», в соответствии со шкалой Саффира-Симпсона отнесенный к первой категории опасности, обрушился на северо-восточное побережье США. В момент приближения к побережью диаметр урагана составил более 800 км, порывы ветра в радиусе 160 км достигали 120 км/ч. Была проведена эвакуация населения из прибрежных районов на всем восточном побережье от Вирджинии до Массачусетса. Режим чрезвычайного положения был введен в затопленных штатах Мэриленд, Массачусетс, Коннектикут, Пенсильвания, Нью-Йорк, Нью-Джерси, Род-Айленд и федеральном округе Колумбия. Высота прилива в Нью-Йорке достигала рекордной величины в 4 метра. Были эвакуированы более 1 млн человек. Погибло более 100 человек, 43 из них — в Нью-Йорке. По словам директора муниципальной энергетической компании, в городе произошло «самое масштабное отключение электричества в результате природной катастрофы». Одним из последствий урагана стал пожар, уничтоживший не менее 20 домов в затопленном нью-йоркском районе Квинс. По словам мэра Нью-Йорка Майкла Блумберга, ущерб, нанесенный экономике мегаполиса ураганом, составил 19 млрд долларов. Суммарный ущерб для экономики США, по предварительным данным, составил более 50 млрд долларов. Процесс образования тропического циклона «Сэнди» начался 22 октября над акваторией Карибского бассейна. До США от «Сэнди» пострадало население Гаити, где погиб 51 человек, Кубы, Ямайки, Пуэрто-Рико и Багамских островов.



Дарина Бакушина



Reuters



EPA/Ramin Talaie



AP Photo/Mike Groll



Reuters/Adam Hunger



REUTERS/Andrew Kelly



Timothy A. Clary/AFP/Getty Images

Серия наводнений в Нигерии

До конца октября 2012 г. в Нигерии продолжалась серия наводнений, ставших следствием необычно обильного сезона дождей и унесшая жизни 431 жителя. Было эвакуировано более 1,3 млн человек. Наводнение стало причиной обрушения десятков тысяч жилых домов, нанесло серьезный урон животноводству, потерявшему примерно 3 тыс. голов. Было уничтожено приблизительно 152575 гектаров сельскохозяйственных угодий. В одном только штате Кано потеряно 95% рисовых ферм, которые оказались залиты водой. Серьезный ущерб нанесен и большинству иных сельскохозяйственных районов страны. Число разрушений, к которым привело стихийное бедствие, позволяет считать его крупнейшим наводнением в Нигерии за последние 40 лет. Президент страны Гудлак Джонатан охарактеризовал случившееся «национальным бедствием».



<http://indepthafrica.com>



<http://ecowars.tv>



<http://ecowars.tv>



www.doctorswithoutborders.org

Циклон «Нилам»

31 октября 2012 г. циклон «Нилам» обрушился на индийское побережье Бенгальского залива, принеся наводнения и штормовые ветры. До этого на острове Шри-Ланка погибло два человека, а ветром и ливнями было уничтожено более 1 тыс. жилых зданий. Скорость ветра в эпицентре шторма составляла 75 км/ч. Всего из зоны бедствия эвакуировали 150 тыс. человек. В штате Андхра-Прадеш жертвами ливней стали по меньшей мере 22 человека. Еще не менее 10 человек погибли в соседнем штате Тамил-Наду. В столице другого берегового штата — Тамиланд власти закрыли 282 школы и приостановили работу порта. В пострадавших штатах множество домов и сельхозугодий были залиты водой, прекращалась подача электричества.



<http://ecowars.tv>

Наводнение в Венеции

В десятых числах ноября 2012 г. в результате проливных дождей и сильного южного ветра произошел резкий подъем уровня моря, и около 70% Венеции оказалось затоплено. Уровень воды в городе на 1,5 м, а в некоторых местах на 2 м превышал норму. Мэрия города ввела режим чрезвычайного положения. Городские школы и другие государственные учреждения, а также все туристические маршруты были закрыты. Это наводнение стало шестым из самых сильных за всю историю Венеции.



<http://bigpicture.ru>



AP



Getty Images



AFP/ Getty Images

Землетрясение в Мьянме

11 ноября 2012 г. в Мьянме произошло землетрясение магнитудой 6,8. Подземные толчки были зафиксированы в 56 километрах от Шуэбо, очаг располагался на глубине 10 километров. Погибли 13 человек, еще 40 получили ранения. В районах Шуэбо и Сингу были разрушены дома и школы, рухнул недостроенный мост через реку Иравади, где пропали без вести рабочие. В столице страны, городе Нейпидо, который располагается в 365 километрах к югу от эпицентра землетрясения, в результате подземных толчков разбились несколько окон в здании парламента. Толчки также ощутили жители столицы соседнего Таиланда.



<http://roamingtheglobe.wordpress.com>

Извержение вулкана Плоский Толбачик

27 ноября 2012 г. началось извержение вулкана Плоский Толбачик на Камчатке. 26 ноября было зафиксировано увеличение сейсмической активности в районе вулкана. Затем на южном склоне образовалась трещина длиной почти в 4 километра. По словам старшего научного сотрудника Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН Александра Овсянникова: «Из этой трещины в верхней части происходили взрывы, стояли 3 лавовых фонтана, а в нижней части образовался довольно мощный лавовый исток». Заместитель директора ИВиС ДВО РАН Геннадий Карпов отметил, что «за 4 дня лавовый поток продвинулся на 13 километров». Лавовые потоки уничтожили вулканологическую базу «Ленинградская» и туристическую базу «Толбачинская», находившиеся в нескольких километрах от вулкана в районе ручья Водопадного. В первые дни извержения пепловый шлейф растянулся на сотни километров, и вулкану был присвоен максимальный (красный) код опасности для авиации. В расположенных неподалеку от Толбачика поселках Майское и Козыревск Усть-Камчатского района прошли пеплопады. Предыдущее извержение вулкана Плоский Толбачик произошло в 1975–1976 гг. и продолжалось 15 месяцев.



Антон Нуждаев



Антон Нуждаев



Антон Нуждаев

Оползень и обрушение тоннеля в Японии

2 декабря 2012 г. на востоке Японии в результате схода оползня произошло обрушение стены автомобильного тоннеля Сасаго, расположенного на трассе Тюо в префектуре Яманаси. В заблокированном тоннеле произошел пожар, погибли 3 человека.



www.cdns.com.tw

Тайфун «Бофа»



www.shafaqna.com



<http://newswire.crs.org>



www.otvisay.net

4 декабря 2012 г. на южную часть островного государства Филиппины обрушился тайфун «Бофа», скорость ветра достигала 160 км/ч с порывами до 210 км/ч, а штормовой фронт растянулся на 500 км. Сначала тайфун прошел по острову Палау, затем по острову Минданао, где наиболее сильно пострадали южная и центральная части. Было эвакуировано более 170 тыс. человек. Тайфун сопровождался интенсивными ливнями, которые спровоцировали наводнения. В провинции Долина Компостела горные потоки размывали несколько дамб, в результате чего под водой оказался ряд населенных пунктов. Из-за непогоды было отменено 145 авиарейсов, парализовано паромное сообщение между островами архипелага. Погибли 1043 жителя, 2662 человека получили ранения, 844 считаются пропавшими без вести, пострадало более 6 млн человек. Повреждено свыше 101 тыс. домов, более 65 тыс. полностью разрушено. Производители бананов понесли убытки на сумму, превышающую 170 млн долларов. Более всего от тайфуна пострадал остров Минданао, где уничтожено 80 процентов посевов, урожай с которых предназначался для экспорта. За все историю метеорологических наблюдений «Бофа» стал одним из самых южных тайфунов пятой категории. Прямой экономический ущерб превысил 200 млн долларов.

Тропический циклон «Эван»

17 декабря 2012 г. с северо-востока на Фиджи обрушился тропический циклон «Эван», глаз циклона обогнул два крупнейших острова архипелага — Вити-Леву и Вануа-Леву — с запада и ушел на юг. Наибольший ущерб стихия нанесла северным и западным островам, где скорость ветра достигала отметки 53 м/с, а его порывов — 75 м/с. Было эвакуировано около 3,5 тыс. человек. Повреждены несколько сотен домов. «Эван» оказался 4-балльным тропическим циклоном (по 5-балльной шкале) и самым мощным циклоном в этом регионе за последние 19 лет.



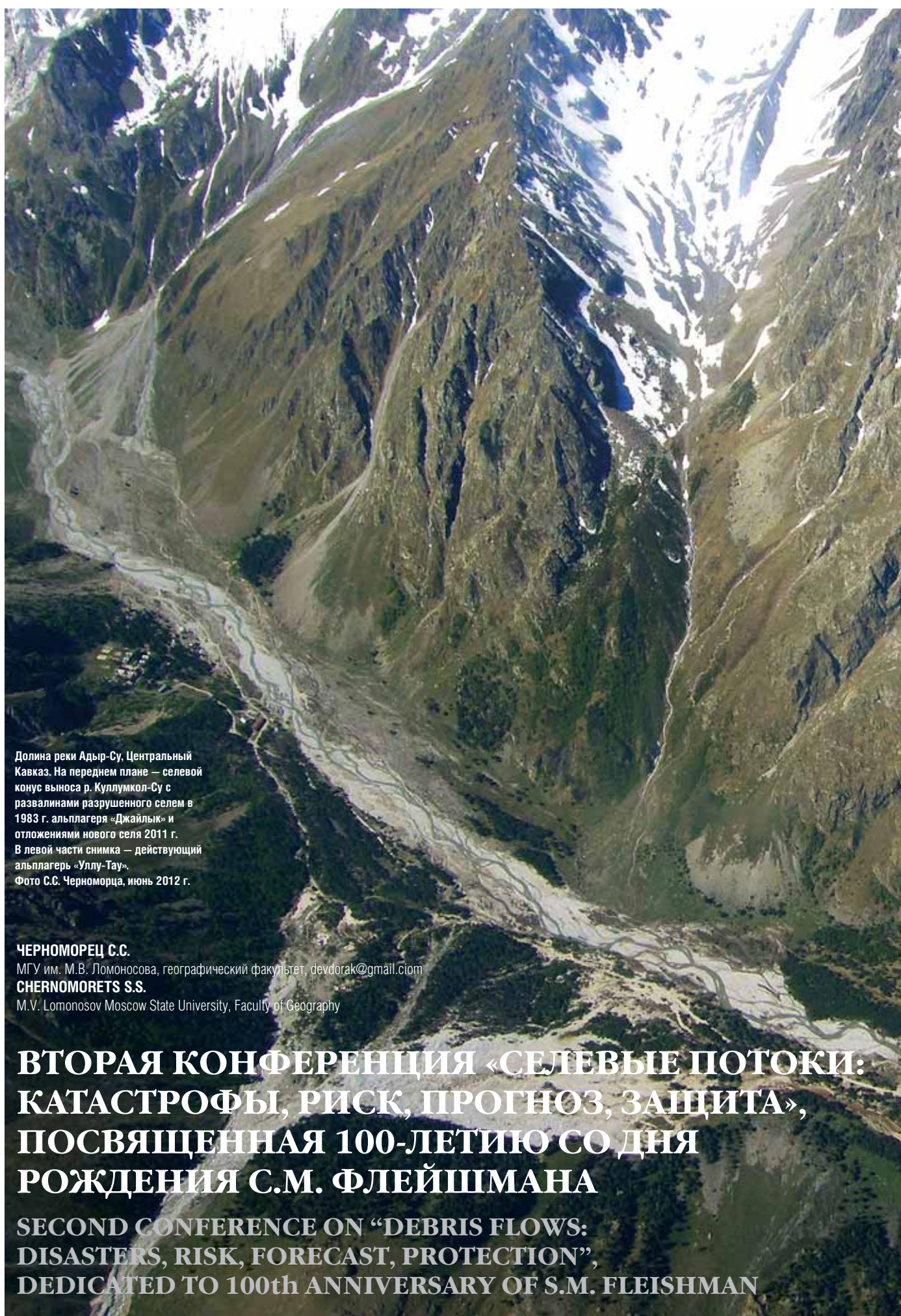
<http://earth-chronicles.ru>



<http://cdn.3news.co.nz>



<http://uudised.err.ee>



Долина реки Адыр-Су. Центральный Кавказ. На переднем плане — селевой конус выноса р. Куллумкол-Су с развалинами разрушенного селом в 1983 г. альплагеря «Джайлык» и отложениями нового селя 2011 г. В левой части снимка — действующий альплагерь «Уллу-Тау». Фото С.С. Черноморца, июнь 2012 г.

ЧЕРНОМОРЕЦ С.С.

МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, devdorak@gmail.com

CHERNOMORETS S.S.

M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography

ВТОРАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: КАТАСТРОФЫ, РИСК, ПРОГНОЗ, ЗАЩИТА», ПОСВЯЩЕННАЯ 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ С.М. ФЛЕЙШМАНА

**SECOND CONFERENCE ON “DEBRIS FLOWS:
DISASTERS, RISK, FORECAST, PROTECTION”,
DEDICATED TO 100th ANNIVERSARY OF S.M. FLEISHMAN**

Большинство статей в данном номере журнала «Геориск» — это доклады, представленные на Второй конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита» (Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 17–19 октября 2012 г.). Мероприятие было посвящено 100-летию со дня рождения С.М. Флейшмана — выдающегося исследователя селевых потоков, автора учебника «Сели», председателя Селевой комиссии, руководителя отдела селей в лаборатории снежных лавин и селей географического факультета МГУ. Организаторами конференции выступили географический факультет МГУ и Селевая ассоциация. Темы конференции включали следующие вопросы: роль С.М. Флейшмана в отечественном селеведении; селевые потоки: глобальный и региональный анализ; селевые катастрофы последних лет; риск и проблемы прогноза селей; селевая опасность ледниковых озер; ледово-водно-каменные потоки; селезащитные мероприятия; новые и старые нормативные документы по селям; школы и традиции селеведения. Спонсорами конференции были журнал «Геориск», ИТЦ «СканЭкс», ОАО «Севкавгипроводхоз» и компания Geobrugg AG. По сравнению с первой конференцией (Пятигорск, 2008 г.) значительно увеличилось присутствие экспертов, занимающихся защитой от селевых потоков.

В первый день, 17 октября, была проведена демонстрация видеofilмoв и видеозаписей о селях и связанных с ними явлениях, на русском и английском языках: «Гибель озера Маашей», «Слово о селевом потоке», «Гляциальные сели Кавказа», «Сели: когда обычные реки превращаются в разрушительные потоки», «Особенности селей в долине Цзянцзя», «Геналдонская ледниковая катастрофа 2002 г.: уроки и последствия», видеозаписи последствий схода ледника Колка.

На пленарном заседании 18 октября, прошедшем под председательством С.С. Черноморца и А.Л. Шныпаркова (Россия), с приветственными словами выступили директор Центрально-Азиатского института прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ) Б.Д. Молдобеков, заместитель декана географического факультета МГУ чл.-корр. РАН С.А. Добролюбов, дочь С.М. Флейшмана Т.С. Флейшман, И.Б. Сейнова. Доклад И.А. Торговеа, Ю.Г. Алешина, С.А. Ерохина (Институт геомеханики и освоения недр Национальной Академии наук Кыргызской Республики; Госгеоагентство при правительстве Кыргызской Республики, Кыргызстан) был посвящен оценке риска прорыва моренно-ледникового озера Петрова (Тянь-Шань). Б.С. Степанов («Казгидромет», Казахстан) рассказал о ключевой роли теории существования селевой массы при расчете характеристик селя. А.Н. Олиферов (Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского, Украина) доложил результаты длительных исследований селевых потоков в Крымском и Карпатском регионах. А.Ю. Баринov (представительство Geobrugg AG, Россия) поделился опытом применения, проектирования и эксплуатации гибких барьеров для защиты от селей. Доклад М.А. Петрова, А.А. Тихановской и И.Г. Томашевской (Институт геологии и геофизики АН Республики Узбекистан) был посвящен отступанию ледников как фактору возникновения гляциальных селей.

На секции «Селевые потоки: глобальный и региональный анализ» (председатели — М.А. Петров, Узбекистан и Р.К. Яфязова, Казахстан) были заслушаны 10 устных докладов. Г.Е. Глазырин (Национальный университет Узбекистана) рассказал об оценке скорости подготовки материала к выносу с поверхности горного речного бассейна. Доклад Н.А. Казакова, Т.М. Рященко, Ю.В. Генсировского, Н.Н. Уховой (Сахалинский филиал ДВГИ ДВО РАН; Институт земной коры СО РАН, Россия) был посвящен составу пород потенциальных селевых массивов как фактору, определяющему структурно-реологический тип селевого потока. В другом докладе сахалинских специалистов Н.А. Казаков, Ю.В. Генсировский, Е.Н. Казакова (Сахалинский филиал ДВГИ ДВО РАН, Россия) изложили результаты изучения селевых процессов в Красной Поляне. С.С. Черноморец, И.Б. Сейнова,

О.В. Тутубалина, А.С. Бричевский (МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия) рассказали о механизмах образования вулканогенных селей на вулканах Ключевской и Шивелуч (Камчатка). В.А. Караваев (Институт географии РАН, Россия), А.В. Воскова (НИПИ Генерального плана г. Москвы, Россия), Е.А. Истомина (Институт географии имени В.Б. Сочавы СО РАН, Россия) посвятили свой доклад опасным геоморфологическим процессам в долине реки Льекези (Кавказ). О селях 2011 года на северном склоне Центрального Кавказа рассказали М.Д. Докукин, Е.А. Савернюк, А.Г. Колычев (Высокогорный геофизический институт, Россия), С.С. Черноморец, О.В. Тутубалина, В.О. Михайлов (МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия), И.Б. Сейнова (Университетский центр инженерной геодинамики и мониторинга, Россия), Е.М. Богаченко, И.Г. Феоктистова (Кабардино-Балкарский Республиканский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Россия), В.Н. Дробышев (Владикавказский научный центр РАН и Правительства РСО — Алания, Россия). С.А. Макаров (Институт географии имени В.Б. Сочавы СО РАН, Россия) доложил результаты нового этапа изучения селей Прибайкалья. А.Л. Ревзон (ЦНИИС, Россия) предложил изучать геодинамический потенциал формирования селей. Доклад М.Н. Петрушиной и Е.Г. Сусловой (МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия) был посвящен ландшафтно-индикационным исследованиям селевой активности на Центральном и Западном Кавказе. Н.В. Чалай (МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия) рассказала о вулканогенных селях в районах современного оледенения.

На секции «Сели и изменения климата» (председатель — А.Н. Рудой) были заслушаны пять устных докладов. Р.К. Яфязова (Институт географии, Казахстан) рассказала о влиянии изменения климата на селевую активность. М.Д. Докукин и Е.А. Савернюк (Высокогорный геофизический институт, Россия) обратили внимание на то, что наступание ледников в конце XX века было фактором активизации гляциальных селевых процессов на Кавказе. Доклад Ю.В. Генсировского, Н.А. Казакова, С.П. Жируева (Сахалинский филиал ДВГИ ДВО РАН, Россия), В.И. Окопного (АНО НИЦ «Геодинамика», Россия) был посвящен условиям формирования и периодичности массового селеобразования в Восточно-Сахалинских горах. И.В. Мальнева (ВСЕГИНГЕО, Россия) и Н.К. Кононова (Институт географии РАН, Россия) рассказали об активности селей на территории России и ближнего зарубежья в XXI веке. Сообщение В.В. Суркова, Н.Н. Виноградовой, И.В. Крыленко и А.М. Тарбеевой (МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия) было посвящено формированию и развитию пойм горных рек в условиях активной селевой деятельности на примере долины реки Баксан.

Секция «Селевые катастрофы последних лет. Риск и проблемы прогноза селей» (председатель — Н.А. Казаков) заслушала пять устных докладов. С.Ю. Гришин (Биолого-поч-



Рис. 1. Выступления участников конференции. Фото Т.В. Волосухиной



Рис. 2. На пленарном заседании

венный институт ДВО РАН, Россия) рассказал о лахарах на вулкане Пик Сарычева (Курилы, извержение 2009 г.) и их воздействии на окружающую среду. И.А. Торгоев (Институт геомеханики и освоения недр Национальной Академии наук Кыргызской Республики) и С.А. Ерохин (Госгеолагентство при Правительстве Кыргызской Республики) посвятили свое сообщение оценке селевого риска при возможном прорыве завального озера Ак-Кёль (Кыргызстан). В.П. Благовещенский, А.Р. Медеу, Т.Л. Киренская, С.У. Ранова (Институт географии Республики Казахстан) доложили о создании атласа природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Республике Казахстан. Сообщение об оценке опасности и риска формирования селей в северных областях Армении сделали В.Р. Бойнагрян, Р.Х. Гагинян, П.Г. Давтян, А.В. Бойнагрян, Н.В. Манукян (Ереванский государственный университет, Ереван, Армения). И.О. Павлова, Н. Экерт, Д. Граншер, В. Джомелли, Д. Брунштейн (Лаборатория физической географии (LGP, CNRS); Лаборатория склоновых процессов, снега и лавин (ETGR, Cemagref), Франция) посвятили свой доклад метеорологическим и геоморфологиче-

ским факторам, влияющим на селевую активность во Французских Альпах.

На секции «Стендовые доклады» 19 октября 2012 г. были представлены 12 докладов. Д.А. Боброва (Сахалинский филиал ДВГИ ДВО РАН, Россия) продемонстрировала результаты инженерных мероприятий по защите линейных сооружений от селей на о. Сахалин. Н.Н. Виноградова, И.В. Крыленко, Р.С. Чалов (МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия) рассказали о соотношении русловых и селевых процессов в формировании горных рек Приэльбрусья. В докладе Э.В. Запороженко, Н.С. Каменева, А.С. Никулина (ОАО «Севкавгипроводхоз», Россия) рассмотрены природные и природно-антропогенные процессы в бассейне р. Баддон (РСО — Ала-ния). Н.А. Казаков и Ю.В. Генсировский (Сахалинский филиал ДВГИ ДВО РАН, Россия) представили материалы о паводках на малых реках низкогогорья Южного и Среднего Сахалина как несвязные селевые потоки. Доклад Е.Н. Казакова (Сахалинский филиал ДВГИ ДВО РАН, Россия) был посвящен взаимному влиянию лавинных, селевых и оползневых процессов на примере западного побережья Южного Сахалина. В.Г. Коновалов (Институт географии РАН, Россия) рассказал о процессах наполнения и сброса воды из прорывоопасного озера Мерцбахера, Тянь-Шань. В сообщении В.А. Лобкиной (Сахалинский филиал ДВГИ ДВО РАН, Россия) были представлены результаты исследования техногенных оползней-селей на отвалах грунтов. С.В. Рыбальченко (Сахалинский филиал ДВГИ ДВО РАН, Россия) представила данные об опасности склоновых селевых потоков на юго-западном побережье Сахалина и западном побережье залива Терпения. Представители Института Гидропроект (Россия) А.Л. Стром и А.Н. Жиркевич проинформировали участников конференции о результатах оценки параметров селевого потока, сформировавшегося при прорыве завального озера на р. Кокомерен (Центральный Тянь-Шань). Два доклада были представлены творческим коллективом из Центрально-Азиатского института прикладных исследований Земли (Кыргызстан). Ш.Э. Усупаев, Б.Д. Молдобеков, А.Э. Шакиров, С.Ж. Орунбаев, А.С. Дудашвили, Г.А. Абдрахманова, Т. Ко-

Последствия селевого потока. Долина реки Лунси (Longxi),
Аба-Тибетско-Цяньский автономный округ провинции Сычуань, Китай.
Фото С.С. Черноморца.

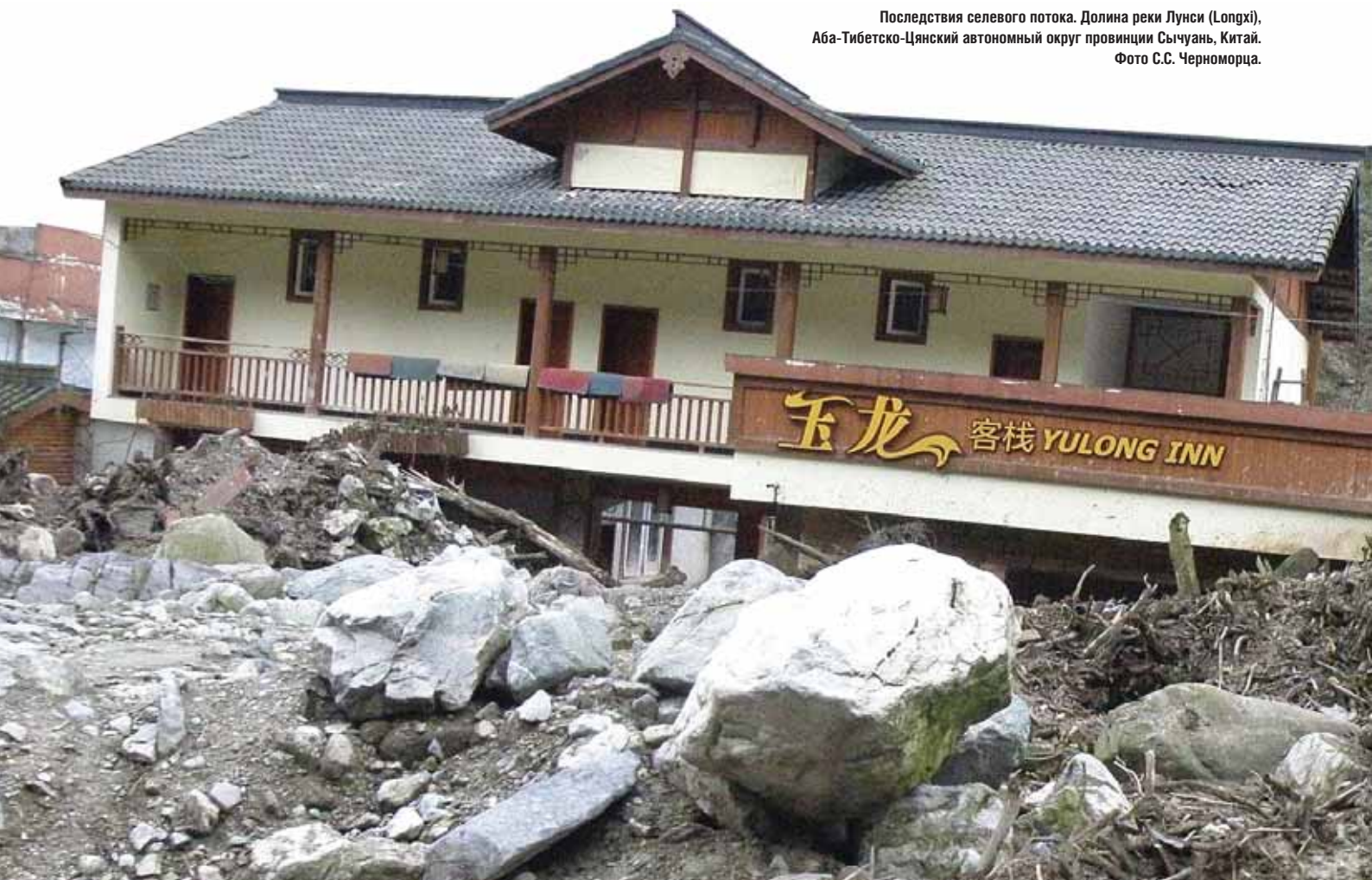




Рис. 3. Участники конференции. Фото С.А. Гавриловой

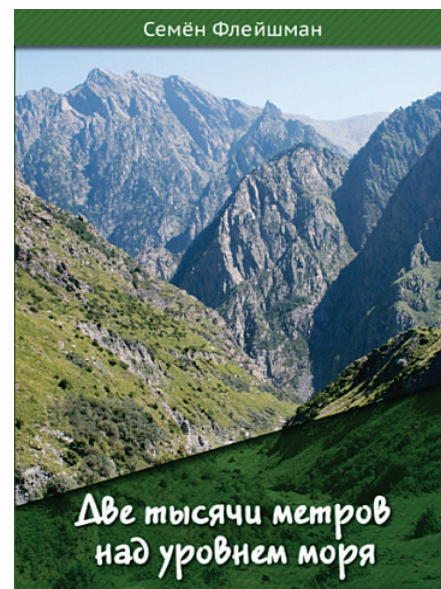


Рис. 4. Обложка книги стихов С.М. Флейшмана «Две тысячи метров над уровнем моря»

ноков, У.А. Абдыбачаев, Э. Мамбеталиев сообщили о георисках в бассейне реки Сары-Жаз и механизме прорыва озера Мерцбахера. В докладе Ш.Э. Усупаева, Г.А. Абдрахмановой, Ш.Н. Узаковой, Г. Бердалиевой, А. Смайыловой, А. Мазымкановой были рассмотрены инженерно-геономические карты и модели оценки георисков от селей и прорывоопасных горных озер на примере территорий Кыргызстана и Таджикистана. Сообщение М.Э. Эглит (МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия) было посвящено математическому моделированию захвата донного материала селевыми потоками.

На секции «Селевая опасность ледниковых озер. Генетические типы селей» (председатель — Д.А. Петраков) были заслушаны шесть устных докладов. Б.Д. Молдобеков (Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли, Кыргызстан) доложил о прорывоопасности озера Мерцбахера (ледник Энильчек, Центральный Тянь-Шань). Г.В. Шафиев и У. Пирмамадов (Международная организация Фокус Гуманитарная помощь, Таджикистан) представили доклад о селевых потоках, вызванных прорывом гляциальных высокогорных озер на территории Таджикистана. А.Н. Рудой, Д.А. Вершинин, И.А. Собянин (Томский государственный университет, Россия) сделали сообщение по теме «Верховья Актру (Алтай) — территория современных экологических рисков. Об экстремальных камнепадах и грязекаменных селях в июле 2012 года». В другом докладе на тему «Сухие долины Намибии: кайнозойские мегацунами или прошлогодние ливневые дожди?» А.Н. Рудой привел доказательства ошибочности гипотезы о морском происхождении отложений в юго-западной Африке. А.А. Лукашов и Е.А. Токарева (МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия) рассказали о селях восточного фланга Байкальской рифтовой зоны. Доклад М.А. Петрова и В.И. Шатравина (Тянь-Шаньский высокогорный научный центр при Институте водных проблем и гидроэнергетики Национальной академии наук Кыргызской Республики, Кыргызстан; Институт геологии и геофизики Академии наук Республики Узбекистан) содержал результаты оценки прорывоопасности гляциального озера Имжа (Непал, Гималаи).

На секции «Сели и селезащитные мероприятия» (председатели — С.С. Черноморец и А.Ю. Баринев) были заслушаны семь устных докладов. В.К. Лапердин (Институт земной коры СО РАН, Россия) рассказал о селеопасности Южного Прибайкалья и состоянии селезащитных сооружений. В докладе Е.Г. Мокрова, П.А. Черноуса и О.Ю. Тяпкиной (Центр лавинной безопасности ОАО «Апатит», Россия, МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия) был изложен опыт количественного оценивания возможности образования водоснежных по-

токов в Хибиных. В.А. Волосухин и А.И. Титоренко (Академия безопасности гидротехнических сооружений, Новочеркасская государственная мелиоративная академия, Россия) представили доклад о селевых процессах в бассейне реки Мзымта. Исторический аспект защиты города Алматы от селей и строительства плотины Медео был рассмотрен в докладе В.Н. Шибаковой (Геологический институт РАН, Россия). Представитель «ГАБИОНЫ МАККАФЕРРИ СНГ» (Россия) А.В. Багин рассказал о противоселевой инженерной защите объектов при использовании конструкций гибких барьеров компании «Маккаферри». Г.В. Шафиев («Фокус Гуманитарная помощь» в Таджикистане, Таджикистан) поделился опытом изучения селевых явлений в горном Бадахшане и наработками организации «Фокус Гуманитарная помощь» в применении современных методов защиты. Доклад С.С. Черноморца, А.Л. Шныпаркова, Д.А. Петракова, И.В. Крыленко, Д.В. Ботавина, О.В. Тутубалиной, В.О. Михайлова, А.И. Михеевой (МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия) и Д.В. Добрынина (ИТЦ «СКАНЭКС», Россия) был посвящен оценке селевой и паводковой опасности по трассе железной дороги Туапсе — Адлер с использованием данных дистанционного зондирования.

Всего в работе конференции приняли участие более 90 специалистов по селевым потокам и защите от них. Были представлены 50 докладов, имеющих как фундаментальное, так и практическое значение, в том числе 38 устных и 12 стендовых. Участники конференции отметили необходимость скорейшей разработки и обновления нормативных документов в области определения параметров селевых потоков и защиты от них. В сборник трудов конференции (Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита // Тр. Второй конференции, посвященной 100-летию С.М. Флейшмана / Отв. ред. С.С. Черноморец. М.: Географический факультет МГУ. 2012. 117 с.) включены тезисы 73 докладов, подготовленных специалистами из России, Казахстана, Таджикистана, Киргизии, Узбекистана, Азербайджана, Грузии, Армении, Украины, Бразилии и Франции. Сборник опубликован как в печатном варианте, так и в электронном виде на сайте конференции <http://debris-flow.narod.ru>. Полные тексты статей (23 шт.) публикуются в журналах «Геориск», «Инженерная геология» и «Криосфера Земли».

С.М. Флейшман известен также как поэт и бард. В честь его 100-летия была издана книга его стихов.

Третью конференцию «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита» планируется провести в г. Южно-Сахалинске в 2014 году.

ОЦЕНКА СЕЛЕВОГО РИСКА ПРИ ВОЗМОЖНОМ ПРОРЫВЕ ЗАВАЛЬНОГО ОЗЕРА АК-КЁЛЬ (КЫРГЫЗСТАН)

DEBRIS FLOW RISK ASSESSMENT FOR POSSIBLE OUTBURST OF THE AK-KEL LAKE (KYRGYZSTAN)

ТОРГОВЕВ И.А.

Заведующий лабораторией геоэкологического мониторинга Института геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Киргизской Республики, к.т.н., geopribor@mail.ru

ХАВЕНИТ Х.-Б.

Профессор геологического факультета Льежского университета, г. Льеж, Бельгия, доктор наук

ЕРОХИН С.А.

Начальник инженерно-геологического отряда Госгеоагентства при правительстве Киргизской Республики

ТОРГОВЕВ I.A.

The head of the Laboratory of Geoeological Monitoring of the , candidate of technical sciences, geopribor@mail.ru

HAVENITH H.-B.

A professor of the geology faculty of Liege University, Liege, Belgium, PhD

EROKHIN S.A.

The chief of the Engineering Geology Group of the State Geology Agency of the Kyrgyz Republic

Ключевые слова: озеро Ак-Кёль; река Ак-Кёль; Центральный Тянь-Шань; Кыргызстан; оползневая дамба; завальное озеро; прорыв; селевой поток; оценка селевого риска.

Аннотация: в статье представлены результаты геофизических (геоэлектрических, сейсморазведочных и микросейсмических) исследований обвального-оползневой плотины и батиметрической съемки ванны озера Ак-Кёль, расположенного на высоте 1730 м в горах Центрального Тянь-Шаня на территории Кыргызстана. Рассмотрены основные факторы прорывоопасности озера, дана оценка последствий его возможного прорыва.

Key words: Ak-Kel Lake; Ak-Kel River; Central Tien-Shan; Kyrgyzstan; landslide dam; dammed lake; debris flow; outburst; debris flow risk assessment.

Abstract: the paper presents results of geophysical investigations (electrical tomography, seismic survey and microseismic measurements) of the landslide dam and bathymetric survey of the Ak-Kel Lake that is situated at the altitude of 1730 m in the mountains of the Central Tien-Shan in the territory of Kyrgyzstan. The main outburst hazard factors of the lake are considered. Its possible outburst consequences are assessed.

Введение

В 2011 году в рамках гранта НАТО SfP 983289 «Предотвращение катастроф, связанных с оползневыми дамбами в Киргизском Тянь-Шане» были выполнены комплексные исследования завального озера Ак-Кёль (Ак-кёль), расположенного в центре горной системы Тянь-Шаня. Основной целью этих научно-исследовательских работ была оценка современного состояния оползневой плотины и прорывоопасности озера, возможности формирования селевого потока при прорыве плотины и последствий прохождения селе. Основными задачами исследования являлись: батиметрическая съемка ванны озера; оценка современного состояния его завальной плотины с помощью комплекса геофизических методов; оценка последствий прорыва плотины.

Батиметрическая съемка ванны озера осуществлялась с лодки при помощи эхолота Garmin Fishfinder 240 и GPS-навигатора типа Garmin. Съемка береговой линии озера проводилась при помощи дифференциальной DGPS-аппаратуры типа ProMark 3.

Геофизические исследования обвального-оползневой плотины озера Ак-Кёль включали в себя:

- вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) тела плотины по трем профилям общей протяженностью 2000 м (использовавшиеся при электроразведывании методика, аппаратура GEOTOMMK8E1000 и компьютерная программа обработки данных обеспечивали получение информации об изменении удельного электрического сопротивления зондируемого массива горных пород на глубину до 90 м);

- сейсмическое зондирование плотин по совмещенным с ВЭЗ профилям по методу преломленных волн;
- микросейсмические Н/В измерения по методу Накамуры в 50 точках на разных участках оползневой плотины, а также записи около 30 сейсмических событий, сделанные пятью мобильными сейсмическими станциями.

Общие сведения о высокогорном озере Ак-Кёль

В горах Тянь-Шаня имеется большое количество «завальных озер», которые образуются за счет блокирования долин горных рек обвальными или оползневыми массами, сползающими с одного из бортов долины (ущелья). К числу озер завального типа относится и оз. Ак-Кёль, которое расположено в верховьях одноименной реки на высоте 1730 м на Центральном Тянь-Шане (рис. 1).

Озеро Ак-Кёль образовалось путем заполнения перекрытой обвальными оползневыми массами эрозионно-тектонической долины водами небольших рек Кенсай и Ункурсай (см. рис. 1, б), истоки которых находятся на высоте более 3000 м в приводораздельной части северного склона хребта Молдо-Тоо. Из озера вытекает р. Ак-Кёль, являющаяся левым притоком реки Минкуш, впадающей в р. Кёкёмерен (см. рис. 1, а) — приток реки Нарын.

Озеро Ак-Кёль имеет 2-ю категорию прорывоопасности. Прорыв его

может быть связан с переполнением озерной ванны и/или разрушением обвально-оползневой плотины. Согласно прогнозным оценкам департамента мониторинга Министерства чрезвычайных ситуаций Киргизской Республики, в зону поражения волны прорыва могут попасть населенные пункты Ак-Куль, Кызыл-Коргон, Табылгыты. Одним из негативных последствий прорыва может стать разрушение дороги протяженностью 10 км, связывающей поселок Ак-Куль с основной магистралью Табылгыты — Арал — Бишкек. Это свидетельствует о том, что, если своевременно не будут приняты соответствующие превентив-

ные меры, прорыв этого озера может нанести значительный социально-экономический и экологический ущерб. Поэтому оценка его угрозы и последствий имеет большое значение.

В геологическом строении района принимают участие нижнекарбоновые отложения и четвертичные отложения раннего возраста и генезиса. Борта озера Ак-Кель имеют следующее строение: западный, крутой и обрывистый, сложен скальными устойчивыми породами нижнего карбона. В правой юго-восточной части обнажаются слабоцементированные аллювиальные отложения среднечетвертичного возраста. Северная и северо-восточная части

озерной котловины представляют собой тело большого обвала, который и служит плотиной озера.

Вдоль западного борта приустьевой части долины реки Ункурсай нижнекарбоновые отложения окаймлены узкой лентой среднечетвертичных аллювиальных отложений высокой прислоненной террасы (Q_2). Вниз по долине она протягивается на 1,0–1,5 км, и в нескольких местах ее пререзают сухие (сезоннодействующие) мелкие поперечные саи (см. рис. 1, б). Максимальная высота террасы — 70 м, ширина — до 50 м. В сторону днища долины терраса обрывается крутой, почти отвесной стеной, окаймленной у по-

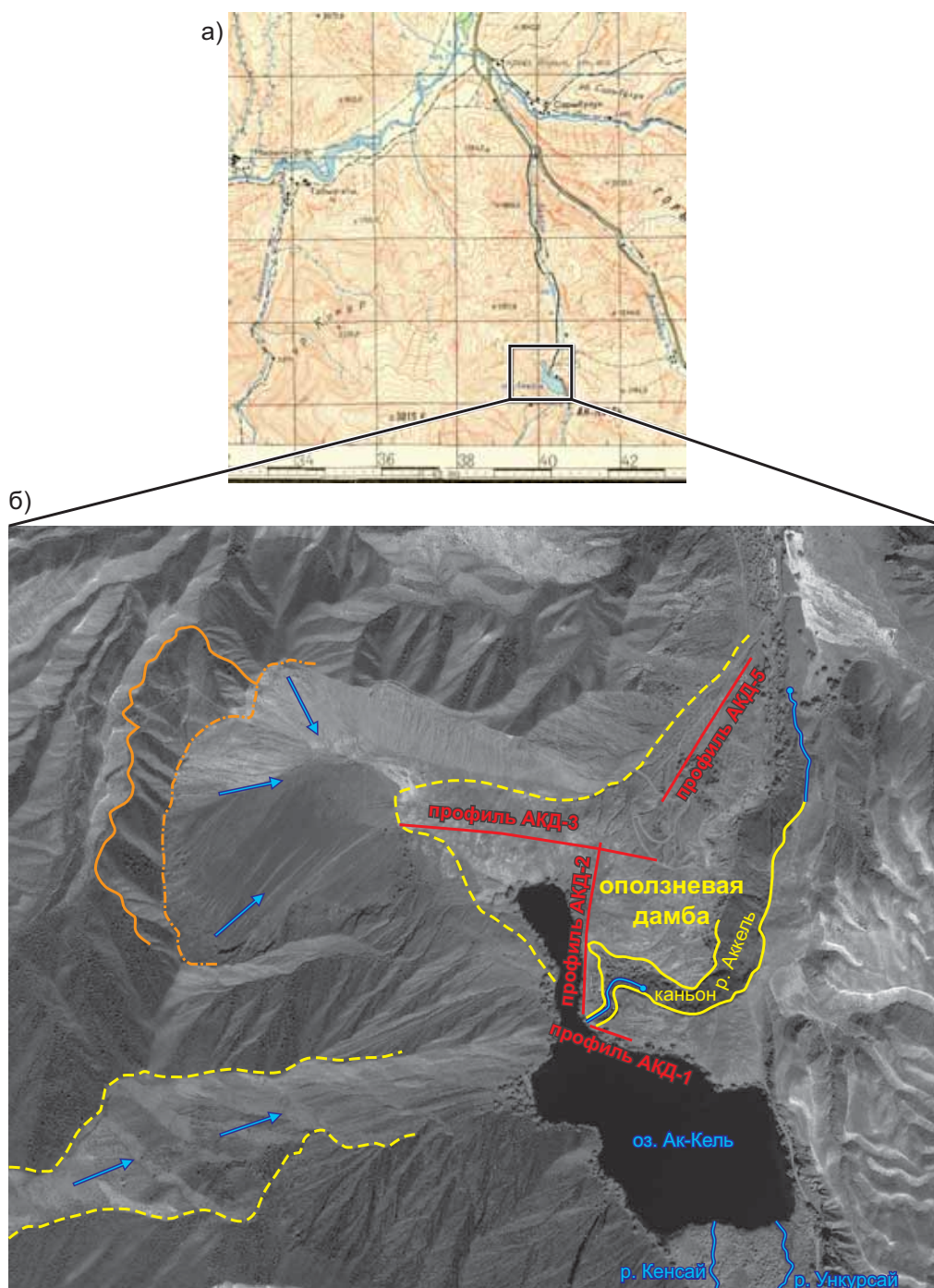


Рис. 1. Топографическая карта района (а) и обзорный космоснимок (б) участка исследований оползневой дамбы и акватории озера Ак-Кель

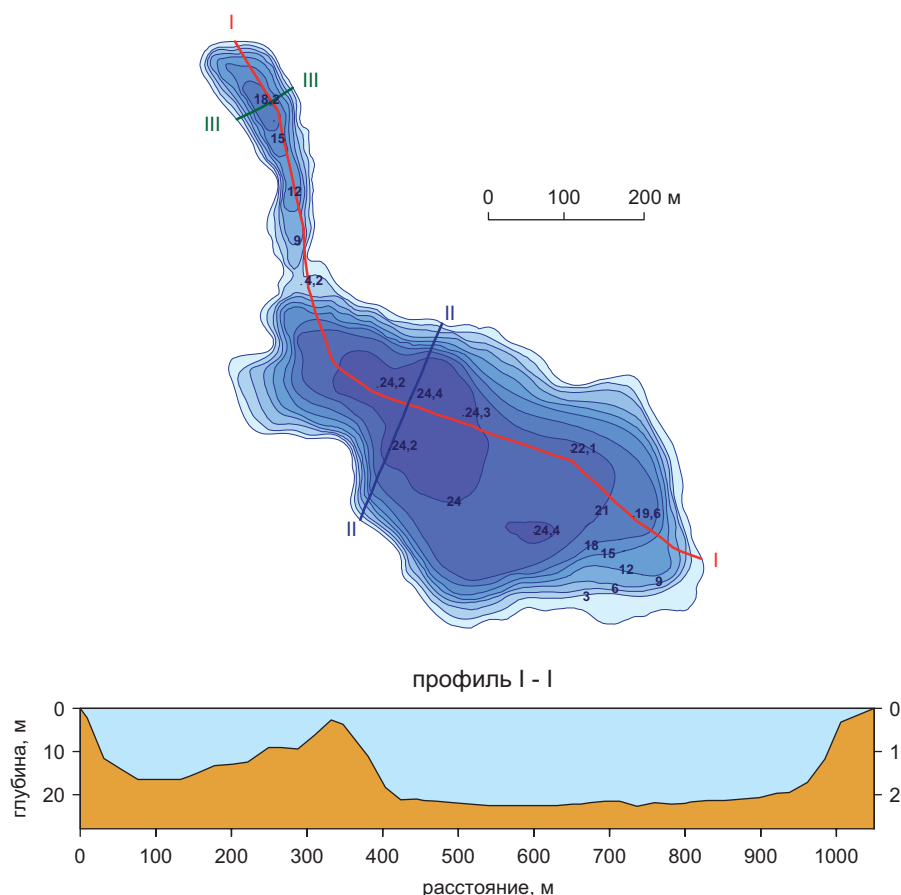


Рис. 2. Результаты батиметрической съемки озера Ак-Кель (2011 год) и профиль I—I озерной ванны

дошвы шлейфом современной осыпи. Терраса прорезана глубокими промоинами, из которых выходят периодически повторяющиеся селевые потоки.

В геологическом строении озерной котловины, как отмечалось выше, принимают участие в основном нижнекарбоновые песчаники и конгломераты джунгорёминской свиты (C_1dn_2). С правого борта они отделены от озера малоустойчивыми, горизонтально залегающими аллювиальными отложениями среднечетвертичного (Q_1) возраста, представленными слабосцементированными конгломератами, песчаниками и лессами.

Результаты батиметрической съемки

На рисунке 2 в графическом виде представлены результаты батиметрической съемки ванны озера Ак-Кель, из которых видно, что наиболее глубокая его часть (24,4 м) расположена в пределах собственно долины. Максимальная глубина юго-западной котловины озера составляет 18,2 м.

В результате батиметрической съемки 2011 года получены следующие морфометрические характеристики ванны озера:

- абсолютная отметка уровня воды в озере — 1728 м;
- ширина — 404 м;

- максимальная длина — 996 м;
- глубина — максимальная 24,4 м, средняя — 15,2 м;
- площадь зеркала — 181 758 тыс. м² (0,182 км²);
- объем воды — 2763 тыс. м³ (2,7 млн м³);
- площадь водосбора — 88 км².

Отток воды из озера осуществляется через систему искусственного водовыпуска, представляющего собой трубчатый водосброс, состоящий из железобетонного входного оголовка и двух консольных металлических водосбросных труб диаметром 1,0 м (см. рис 3, в).

Следует отметить, что предыдущая батиметрическая съемка озера была проведена в 1968 году. При сопоставлении батиметрических карт водоема 1968 и 2011 годов было установлено, что максимальная глубина озера за указанный период (43 года) уменьшилась на 0,6 м. Основной причиной постепенного обмеления озера, изменения его батиметрии и конфигурации береговой линии является перенос (перемещение) значительного количества материала (твердого стока рек Ункурсай и Кенсай, селевых потоков), который, накапливаясь в ванне, способствует общему подъему уровня воды.

Средняя продолжительность межселевых периодов (время, необходимое для накопления достаточного количе-

ства рыхлого легкоподвижного материала), по сообщениям местных жителей, в прошлом составляла 10–15 лет. Однако нередко бывают случаи, когда в особенно влажные годы эта закономерность нарушается в сторону сокращения этого промежутка времени.

Оценка современного состояния завальной плотины

Оползневая дамба озера Ак-Кель сформировалась в результате древнего обвала. Ее объем составляет около 10 млн м³, мощность согласно данным электрозондирования достигает 70 м (см. рис. 1, б), длина по дну — около 100 м, по гребню — 450 м, ширина в основании — примерно 1,0 км. Ширина оползневого завала в 10 раз больше высоты, что и послужило одной из причин его длительного существования (долговечности) на протяжении нескольких сотен лет. По результатам дешифрирования космоснимков (см. рис. 1, б) установлено, что общая площадь оползневого тела составляет свыше 30 тыс. м². Превышение гребня завала над урезом воды в озере неодинаковое и составляет от 2 м на участке искусственной плотинной перемычки до 40 м в восточной части оползневой дамбы.

Тело обвально-оползневой дамбы представляет собой огромный блок коренных пород карбона, представленный сильнотрещиноватыми, раздробленными в результате смещения красноватыми песчаниками и конгломератами джунгорёминской свиты (C_1dn_2), сброшенными по серии пересекающихся разломов с северо-западного борта долины.

Оползневая плотина на глубину до 16 м от дневной поверхности сложена щебнистыми отложениями с супесчаным заполнителем. Ниже прослежены обнажения глинистых сланцев, реже песчаников. Грунты сильно разрушены и могут быть отнесены к крупнообломочным. Еще ниже прослеживаются сланцы, отнесенные к скальным сильнотрещиноватым грунтам, и средне-трещиноватые песчаники.

Обвал перегородил русло реки плотинной северо-западного направления. В результате чаша озера смещена к западному борту долины, заходя своим удлиненным фьордообразным заливом в нишу вывала (см. рис. 1). Долинная часть озерной ванны отделена от ниши вывала подводным порогом, расположенным на глубине 4 м от поверхности. Этот подводный порог (профиль I—I на рис. 2) является южной границей зоны смещения обвально-оползневых масс, сместившихся из северо-западного цирка, а западная граница смещения хорошо прослеживается на дневной поверхности склона.

По всем геоморфологическим признакам в первый период после возник-

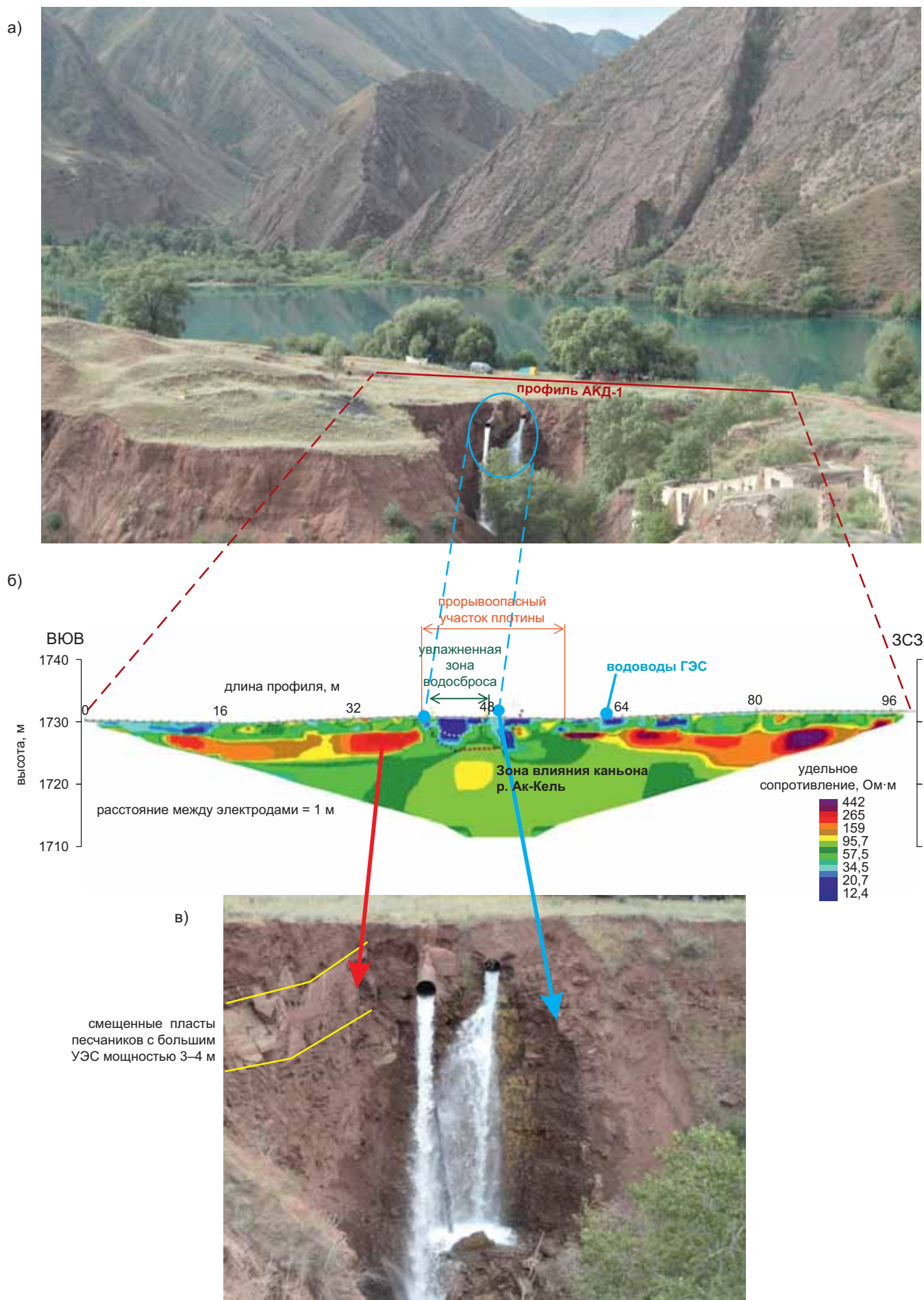


Рис. 3. Профиль ВЗЗ АКД-1 на плотинной перемычке: а — положение профиля на плотине; б — 2D-геоэлектротомограмма перемычки (Геоэлектрический разрез (7 итераций, абс. ошибка = 0,87)); в — сильноувлажненная зона, приуроченная к неисправным водосбросным трубопроводам

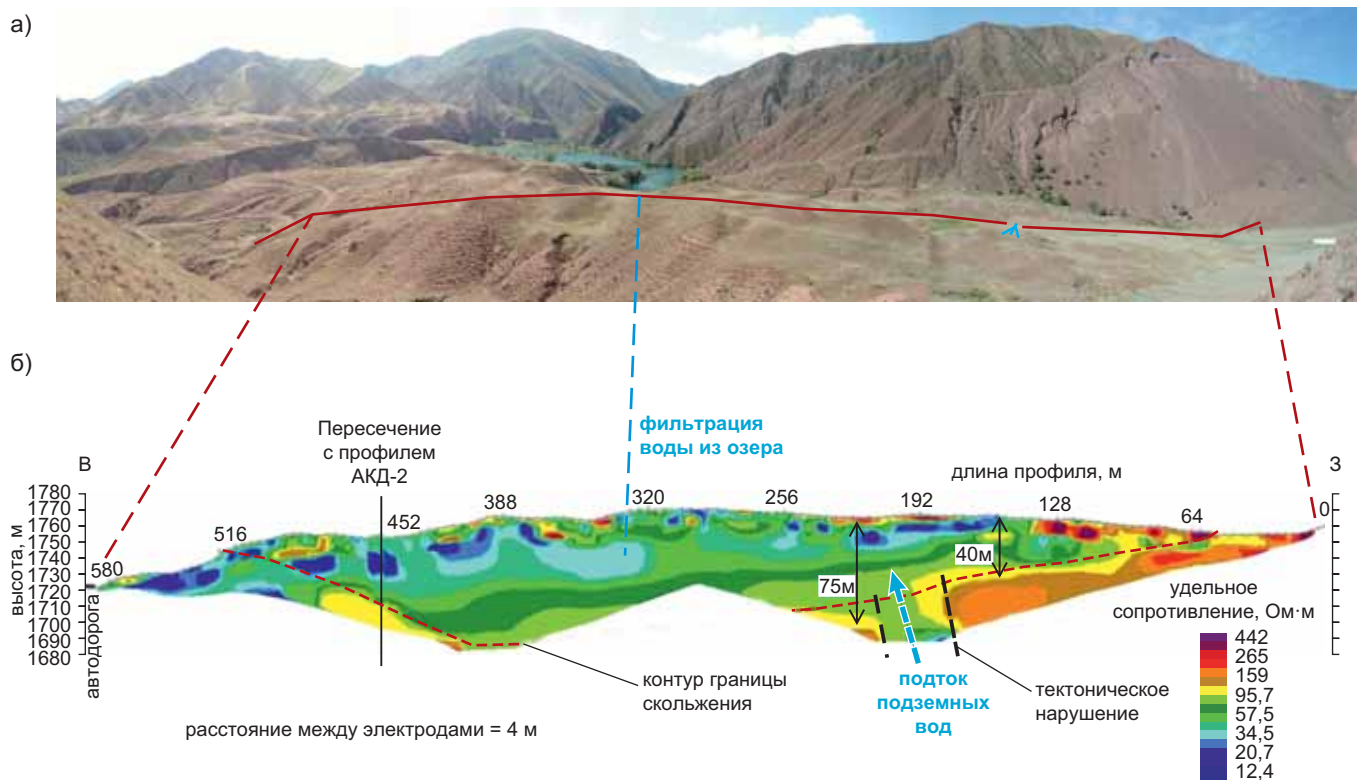


Рис. 4. Совмещенные профили ВЗЗ АКД-3 и АКД-4 на оползневом теле: а — положение профиля на местности (вид с севера); б — 2D-геоэлектротомограмма профиля с элементами геолого-тектонической интерпретации (Геоэлектрический разрез (4 итерации, абс. ошибка = 2,7))

новения озеро разгружалось как подземным, так и поверхностным путем. Свидетельством тому служит глубокий каньон (см. рис. 1), образовавшийся на месте бывшего русла реки, перекрытого завалом. Рост каньона начался со стороны нижнего бьефа в направлении озера (с востока на запад), то есть с места выхода на поверхность фильтрующихся через тело плотины вод.

Коренные породы, достаточно прочные и устойчивые в обычном своем залегании, оказались малонадежными в условиях нарушенной сплошности обвала. При обильном водонасыщении они сравнительно быстро размокают и легко размываются комбинированным поверхностно-подземным потоком. Именно так по нашему предположению произошло первоначальное зарождение каньона. Со временем подземный сток почти полностью уступил место поверхностному, и процесс эрозионного роста каньона еще более ускорился за счет увеличения расхода поверхностного стока и его динамической активности.

Фильтрация воды через существующую плотину не отмечалась, но на левом берегу реки Ак-Кель, ниже ее поворота к северу, наблюдается очень слабое высачивание воды по слоям сланцев, выявленное и на других участках обвально-оползневой дамбы в процессе вертикального электрического зондирования (рис. 3, 4). Грунтовые воды четвертичных отложений приурочены к аллювиальным грунтам. Выклинивание фильтрационных вод

через тело плотины по правому борту реки не наблюдается.

Естественное русло реки Ак-Кель, по которому она раньше вытекла из озера, перекрыто отвальными породами рудника, так как сток был в прошлом искусственно зарегулирован с целью подачи воды на ГЭС рудника Ак-Куль. В настоящее время минимальная ширина этой искусственной плотинной перемычки, отделяющей озеро от каньона, составляет 20 м, а глубина каньона в прежнем русле реки — 25 м. По гребню плотины в 150–200 м от естественного русла проложен искусственный канал с бетонным желобом внутри. Далее он по кромке оврага подведен к зданию ГЭС, расположенному на склоне оврага с южной стороны естественного русла.

Для сброса воды из озера Ак-Кель при строительстве ГЭС был сооружен трубчатый водовыпуск, состоящий из железобетонного входного оголовка и двух металлических труб консольного водосброса диаметром 1 м. Излишки воды из озера сбрасывались по этим трубам в каньон на бетонный водотрагатель, который в настоящее время разрушен. По этой причине вода, сбрасываемая из озера по одной из труб с обрушившимся консольным оголовком, интенсивно размывает дно и стенку каньона (см. рис. 3, в), который отступает в сторону озера. С момента обрушения оголовка правой трубы стенка плотинной перемычки в результате размыва отступила на 5 м в сторону озера. По этой причине следу-

ет ожидать и обрушения оголовка второй трубы, и тогда скорость размыва (отступления) увеличится. В настоящее время до уреза воды в озере осталось чуть больше 30 м. Техническое состояние водовыпуска в настоящее время таково, что увеличение расхода в 1,5–2,0 раза против существующего может оказаться для него катастрофическим и приведет к размыву плотины и сбросу вод озера с ориентировочным расходом 900–1000 м³/с.

Складывающаяся ситуация на прорывоопасном участке плотины может усугубиться тем, что при повышении уровня воды в озере и увеличении имеющейся фильтрации может быть нарушена статическая устойчивость насыпной перемычки, которая является наиболее уязвимым участком обвально-оползневой плотины озера Ак-Кель. Для оценки состояния плотинной перемычки, а также тела обвально-оползневой плотины во время полевого сезона 2011 года был выполнен значительный объем геофизических исследований, результаты которых в сжатом виде представлены ниже.

Результаты геофизических исследований оползневой дамбы

Плотинная перемычка, как уже отмечалось, — наиболее уязвимый участок. Здесь был проложен профиль AKD1 протяженностью 100 м с расстоянием между электродами 1 м. Это позволило обеспечить максимальную

глубину электрозондирования до 40 м от поверхности гребня плотины, что сопоставимо с глубиной каньона в нижнем бьефе плотинной перемычки. На рисунке 3 представлены фотографии прозондированного участка плотины с указанием местоположения профиля АКД1 на ее гребне и полученная в результате электрозондирования двумерная геотомограмма рассматриваемого участка.

На геотомограмме в центре отчетливо выделяется сильно увлажненная зона влияния неисправных водосбросных трубопроводов глубиной до 5,0–7,5 м, характеризующаяся малым значением удельного электрического сопротивления (УЭС), составляющим от 12 до 57 Ом·м. В поперечнике эта зона гораздо больше диаметра водовыпускных труб (1 м). Это, возможно, связано с тем обстоятельством, что вода из озера вытекает в настоящее время не только по трубам, но и просачивается по их внешнему контуру за счет разуплотнения железобетонного входного оголовка, вызванного обрушением одной из водовыпускных труб.

На рисунке 3, в эта зона показана крупным планом с выделением смещенных пластов песчаника мощностью от 4 м (в восточной части рассматриваемого профиля) до 10 м (в западной части). На томограмме этот пласт относительно сохранившегося при оползневом смещении песчаника распознается как красноватый, контрастно выделяющийся слой с довольно высоким УЭС (160–500 Ом·м). Меньшая нарушенность и трещиноватость этого пласта по сравнению с нижележащей сильно раздробленной и перемятой толщей песчаников и конгломератов, по-видимому, связана с тем, что в процессе оползания с верхних участков северно-западного борта долины он смещался, находясь на поверхности.

Ниже этого более или менее сохранного пласта также залегают песчаники, которые были сильно раздроблены при оползневом смещении. Они характеризуются более низкими значениями УЭС (60–150 Ом·м) по сравнению с вышележащими пластами за счет более сильного увлажнения водой, просачивающейся из озера сквозь сильно трещиноватую среду.

По аналогии с многочисленными другими оползневыми дамбами Тянь-Шаня можно утверждать, что оползни с большим объемом горной массы и большими высотами смещения формируются в нижней и центральной частях завалов ядро из мелкоземисто-щебнистой уплотненной массы, которое как бы пломбирует долину (русло) и служит слабопроницаемым ядром завальной плотины. Верхние части завалов, как правило, слагаются обломками относительно сохранных пород, что име-



Рис. 5. Карта зоны затопления селевым потоком (красная пунктирная линия) при гипотетическом прорыве озера Ак-Кёль с указанием расчетных створов и древнеоползневых участков

ет место и на оползневой дамбе озера Ак-Кёль.

По результатам электрозондирования плотинной перемычки и изучения обнажения стенки каньона было установлено, что протяженность (ширина) сильноувлажненной и потенциально неустойчивой зоны влияния трубопроводов по гребню дамбы составляет около 15 м. Ее глубина — 8–10 м, а минимальная ширина от уреза воды в озере до кромки каньона на размываемом участке — 33 м.

Рассматриваемый участок плотинной перемычки в пределах профиля АКД1 является наиболее слабым и уязвимым участком всего тела оползневой дамбы.

Совмещенный профиль АКД3 и АКД4 проложен с запада на восток в направлении смещения оползневых масс (см. рис. 4). Его длина составляет 700 м, расстояние между электродами — 4 м, глубина зондирования — до 90 м.

На рисунке 4 представлены фотографии зондируемого участка оползневой тела с указанием местоположения совмещенного профиля АКД3 и АКД4 на местности и полученная при электрозондировании томограмма, на ко-

торой видно, что максимальная по профилю мощность оползневых отложений достигает 75 м. Отличительной особенностью является выделяющаяся на электротомограмме зона тектонического нарушения вблизи запрокинутой части оползня, которая находится недалеко от стенки отрыва (см. рис. 4, б). Видно, что наряду с увлажнением тела оползня озерной водой еще одним источником обводнения являются подземные воды, поступающие в его тело из зоны тектонического нарушения.

К числу геологических факторов, обуславливающих образование крупных оползней и обвальных перекрытий горных долин, наряду с составом и условиями залегания горных пород в массиве, высотой, крутизной и формой склона, мощностью зон разуплотнения и выветривания, обводненностью пород склона, конечно, относятся структурно-тектонические особенности строения массива. В настоящее время установлено, что крупные обвально-оползневые перекрытия образуются на границах или в пределах блоков с неотектонической или современной активностью, обуславливающей формирование сложных полей напряжения в массивах по-

род, перекосы и движение в пространстве отдельных блоков. По этим причинам очень часто крупные обвально-оползневые перекрытия типа Аккельского бывают структурно обусловленными, то есть приуроченными к зонам надвигов, тектоническим разломам, поверхностям напластования, как это имеет место в случае с Аккельским завалом (см. рис. 4, б). Таким тектоническим разломом здесь является нарушение, выявленное авторами в процессе электрозондирования оползневой массы на участке сопряжения стенки отрыва оползня с ложем коренных пород днища озерной котловины, то есть в тыловой части оползня. По этому тектоническому нарушению отложения верхнего и среднего ордовика контактируют с грунтами нижнего карбона.

Основная (фундаментальная) резонансная частота оползневой дамбы, полученная в большинстве мест измерений по методу Накамуры, составляет около 3 Гц, что указывает на среднюю мощность оползневой массы между 30 и 35 м. Местами эта величина может опускаться до 1 Гц — там мощность достигает 75 м. Резонансные пики в центральной части характеризуются большими значениями амплитуд. Поэтому следует ожидать, что имеется сильный контраст между

значениями сейсмической жесткости оползневой массы и коренной породы, что, в свою очередь, способствует эффекту локального усиления сейсмических колебаний.

Вышеприведенные факты делают оползневую дамбу весьма уязвимой по отношению к обрушению, которое может быть инициировано сейсмическим событием.

Необходимо добавить, что азимут наибольших колебаний ориентирован параллельно местному удлинению оползневой массы. Так как записи землетрясений были частично сделаны сейсмометрами, а частично — акселерометрами, они не могут быть сравнены между собой напрямую. Однако H/V -соотношения (соотношения между амплитудами ускорений на горизонтальной и вертикальной компонентах сейсмических колебаний), вычисленные на основании записи землетрясений, достаточно уверенно указывают на то, что в центральной части оползневой дамбы амплитуды по крайней мере в два раза больше, чем по краям.

Оценка последствий прорыва озера Ак-Кель

Анализ состояния Аккельского завала и процессов, развивающихся в его

теле, позволил выяснить основные условия и причины, способные негативно повлиять на устойчивость его самого слабого и уязвимого участка — плотинной перемычки в зоне влияния неисправного трубчатого водосброса. В результате выполненных геофизических исследований, изучения обнажений стенки каньона и батиметрической съемки было установлено, что к числу основных факторов прорывоопасности озера Ак-Кель относятся (в порядке приоритетности):

1) интенсивный эрозионный размыв плотинной перемычки на участке водосбросных трубопроводов за счет произошедшего в конце 1990-х годов обрушения выпускного консольного оголовка одной из труб, в результате которого вода ниспадает вниз непосредственно по стенке перемычки в нижнем бьефе, систематически размывая ее;

2) постепенный подъем уровня воды в озере за счет уменьшения объема озерной ванны, который может привести к переливу воды на этом же наименее устойчивом и наиболее уязвимом участке плотины;

3) рост руслового каньона реки Ак-Кель в нижнем бьефе плотины под влиянием эрозионной деятельности потока воды, сбрасываемого из труб водосброса.

Таблица

Результаты расчетов параметров селевого потока по створам в долине реки Ак-Кель

№ створа	Расстояние от плотины, м	Ширина долины B , м	Уклон долины I , безразм.	Скорость потока V , м/с	Глубина потока h , м	Время добега-ния волны прорыва*, с	Расход потока Q , м ³ /с	Примечание
0	0	25	-	6,67	6,39	-	1000	Каньон Ак-Кель
1	890	400	0,101	2,71	1,01	189	1100	Выход из каньона
2	1340	175	0,044	3,12	2,00	348/159	1100	Вход в ущелье
3	1970	300	0,032	2,48	1,48	602/254	1100	Дно озера
4	2410	75	0,010	3,24	4,51	755/153	1100	Сужение русла
5	2860	50	0,044	4,89	4,90	865/110	1200	Древний оползень
6	3040	90	0,111	4,70	2,84	902/37	1200	Оползень
7	3410	125	0,108	4,17	2,29	985/83	1200	
8	3760	80	0,057	4,34	3,43	1067/82	1200	
9	4270	50	0,039	4,93	5,27	1177/110	1300	
10	4840	60	0,035	4,55	4,76	1297/120	1300	
10	5400	40	0,036	5,38	6,52	1412/113	1400	Слияние с р. Дюнжюрёме
12	6060	100	0,0030	3,92	3,81	1551/141	1500	
13	6810	340	0,027	2,56	1,72	1784/231	1500	
16	7690	560	0,014	1,99	1,43	2170/386	1600	Дома лесхоза
17	8190	630	0,014	1,91	1,33	2426/156	1600	Мост р. Минкуш
18	8515	1200	0,011	1,52	0,95	2616/190	1600	Устье р. Минкуш

* В числителе — время добегаания волны прорыва от источника до створа; в знаменателе — время прохождения волны между соседними точками створа.

Таким образом, главным источником риска прорыва завального озера Ак-Кель является сильно увлажненный участок плотинной перемычки в зоне влияния неисправных водосбросных труб. Основным сценарием, рассматривавшимся при оценке последствий прорыва озера, являлся вариант размыва и последующего разрушения плотины на этом участке. Разрушение плотинной перемычки здесь будет сопровождаться образованием прорана размером $10 \times 15 \text{ м}^2$ по результатам гео-лого-геофизических исследований.

В свою очередь, образование прорана приведет к формированию волны прорыва, которая распространится в нижнем бьефе плотины. Территории, расположенные в долине реки Ак-Кель, ниже плотины озера подвергнутся затоплению и воздействию гидродинамической волны прорыва.

Прорывная волна представляет большую опасность в силу значительной скорости ее продвижения (до 10 м/с), а также из-за того, что она может трансформироваться в селевой поток большой разрушительной силы. Особенностью долины реки Ак-Кель является перегруженность ее дна материалами горной денудации. Дно долины ниже правобережного грандиозного древнего оползня (рис. 5) и безымянного опорожненного озера заполнено селевыми наносами, оставшимися после прорыва этого древнего озера.

Общая протяженность русла реки Ак-Кель от плотины озера Ак-Кель до ее слияния с рекой Минкуш составляет 7,7 км, а до впадения последней в реку Кёкёмерен — 8,5 км. Перепад высот от уреза воды в озере до уровня воды реки Кёкёмерен составит 307 м. В 5,4 км ниже озера р. Ак-Кель сливается с р. Дюнгюрёме и протекает в узком ущелье шириной около 50–70 м с обрывистыми бортами.

Исходные данные, принятые при расчетах, включали глубину прорана 10 м, ширину 15 м и прорывоопасный объем воды. При неблагоприятном сочетании факторов прорывоопасности может произойти полное опорожнение озера, то есть спуск в реку Ак-Кель 2,7 млн м^3 воды.

Рассмотрим использованный алгоритм операций по определению основных параметров прорывной волны и селевого потока.

1. Упрощенный расчет максимального расхода прорывного потока Q_{max} выполнен по одной из многочисленных эмпирических формул, полученных на основе обобщения и анализа гидравлических и геометрических параметров 108 случаев разрушений оползневых дамб и прорывов завальных озер по всему миру. В последние годы наиболее часто употребляется формула Бройха (Broich), составленная в 1998 году на основе анализа разрушения оползневых дамб и прорыв-

ных потоков по 39 историко-геологическим случаям [2]:

$$Q_{\text{max}} = 255(h \cdot V_{\Sigma})^{0,449}, \quad (1)$$

где h — глубина прорана, м; V_{Σ} — объем воды, млн м^3 .

Коэффициент детерминации для уравнения (1) равен 0,76. Расчеты, выполненные по этой формуле с учетом приведенных выше морфометрических характеристик прорана и озера ($h = 10 \text{ м}$, $V_{\Sigma} = 2,7 \text{ млн м}^3$), дают значение $Q_{\text{max}} = 1325 \text{ м}^3/\text{с}$.

Вышеприведенный расчет максимального расхода прорывной волны в каньоне выполнен без учета объема русловых и склоновых отложений, которые могут быть захвачены по пути следования потока в русле реки Ак-Кель. Практика показывает, что для рыхлых русловых и склоновых накоплений приняты объемы, соответствующие 10–15% захвата, для участков активных осыпей — 20–30%, для подмываемых и подвижных оползней — 35–50%. Суммарный максимальный расход прорывной волны, полученный с учетом этих поправок и величин расхода жидкой и твердой составляющих на конусе выноса реки Ак-Кель, можно принять окончательно равным 1600 $\text{м}^3/\text{с}$ (см. таблицу).

2. Скорость V_i прохождения селевого потока по выбранным створам (см. рис. 5) определялась по известной формуле, предложенной Г.П. Херхеулидзе [1]:

$$V_i = 4,83 \sqrt{h_i} \cdot \sqrt{I}, \quad (2)$$

где h_i — средняя глубина селевого потока в i -м створе, м; I — уклон долины р. Ак-Кель по створам.

3. Расчетная средняя глубина (мощность) селевого потока h_i определялась по формуле:

$$h_i = \sqrt[3]{(Q_i / 4,83 \sqrt{I} \cdot B)}, \quad (3)$$

где Q_i — расход селевого потока в i -м створе; B — ширина долины реки Ак-Кель в i -м створе.

Результаты расчетов параметров прорывной волны и селевого потока, выполненные по указанному алгоритму и с помощью эмпирических формул (2, 3), приведены в таблице и на рис. 5. Как видно из таблицы, скорость селевого потока на узких участках долины может достигать 5,4 м/с, а его максимальная мощность (глубина) — 6,5 м.

Время добегания волны прорыва от плотины озера Ак-Кель до домов лесхоза (см. рис. 5) составляет 2170 с, или 36 мин., до моста через реку Минкуш — 40 мин.

Сход селя — сложный, многогранный процесс. В силу изложенных выше особенностей строения долины реки Ак-Кель при прохождении по ней мощной волны прорыва и селевого потока глубиной до 6,5 м возможна реактивизация древних оползней и обвалов с образованием и размывом повторных заторов. При движении селевого потока почти непрерывно происходит обогащение и отложение селевых масс.

Выводы и рекомендации

Потенциальная опасность внезапного опорожнения завального озера Ак-Кель постепенно нарастает. Главным источником риска его прорыва является сильноувлажненный участок плотинной перемычки в зоне влияния неисправных водосбросных труб. Разрушение плотинной перемычки приведет к опорожнению озера в течение 45 мин. и формированию гидродинамической волны прорыва, которая по пути следования в узкой долине реки Ак-Кель трансформируется в селевой поток с большой скоростью продвижения (до 5,4 м/с), способный перемещать глыбы валунов со средним размером 0,8–1,0 м. Территории, расположенные в долине, подвергнутся воздействию этого селевого потока мощностью до 6,5 м, что вызовет полное разрушение автодороги и мостов. Селевой поток за 36 мин. после прорыва озера достигнет конуса выноса реки, где расположены жилые и служебные помещения Джумгальского лесхоза, которые будут затоплены и разрушены селевой волной мощностью до 1,4 м. По дороге, проложенной в долине реки Ак-Кель, активно передвигаются местные жители, работники лесничества, угольных карьеров, которые могут быть застигнуты внезапным разрушительным селевым потоком внутри узкого ущелья и погибнуть.

Первоочередным инженерно-техническим мероприятием по предотвращению чрезвычайной ситуации, связанной с неблагоприятными последствиями возможного прорыва озера Ак-Кель, должен стать срочный ремонт постепенно разрушающейся системы водовыпуска, исключающий дальнейший размыв плотинной перемычки в нижнем бьефе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баринев А.В., Седнев В.А., Шевчук А.Б. и др. Опасные природные процессы: учебник. М.: Изд-во Академии ГПС МЧС России, 2009. С. 223.*
2. *Zagonjioili M., Mynett A. Dam breaching uncertainty and effect in downstream areas // Proceedings of the 7th International Conference on Hydrosience and Engineering. Philadelphia, USA: Drexel University, 2006. P. 2–14.*

СЕЛЕВОЙ РИСК НА ЧЕРНОМОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КАВКАЗА

DEBRIS FLOWS RISK IN THE CAUCASIAN BLACK SEA COASTAL ZONE

ШНЫПАРКОВ А.Л.

Ведущий научный сотрудник лаборатории оценки природных рисков и НИЛ снежных лавин и селей географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к.г.н., г. Москва, malyn2006@yandex.ru

КОЛТЕРМАНН П.К.

Профессор лаборатории оценки природных рисков географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва, p.koltermann@gmail.com

СЕЛИВЕРСТОВ Ю.Г.

Научный сотрудник лаборатории оценки природных рисков и НИЛ снежных лавин и селей географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва, yus5@yandex.ru

СОКРАТОВ С.А.

Старший научный сотрудник лаборатории оценки природных рисков и НИЛ снежных лавин и селей географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к.г.н., г. Москва, sergey@mac.com

ПЕРОВ В.Ф.,

Ведущий научный сотрудник НИЛ снежных лавин и селей географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, д.г.н., г. Москва

SHNYPARKOV A.L.

A lead staff scientist of the Natural Risk Assessment Laboratory and the Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows of the Geography Faculty of Lomonosov Moscow State University, candidate of science (Geography), Moscow, malyn2006@yandex.ru

KOLTERMANN P.K.

A professor of the Natural Risk Assessment Laboratory of the Geography Faculty of Lomonosov Moscow State University, doctor of science (Geography), Moscow, p.koltermann@gmail.com

SELIVERSTOV YU.G.

A staff scientist of the Natural Risk Assessment Laboratory and the Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows of the Geography Faculty of Lomonosov Moscow State University, Moscow, yus5@yandex.ru

SOKRATOV S.A.

A senior staff scientist of the Natural Risk Assessment Laboratory and the Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows of the Geography Faculty of Lomonosov Moscow State University, candidate of science (Geography), Moscow, sergey@mac.com

PEROV V.F.

A lead staff scientist of the Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows of the Geography Faculty of Lomonosov Moscow State University, doctor of science (Geography), Moscow

Ключевые слова: селевые потоки; селевые паводки; картографирование; селевой риск.

Аннотация: в статье оценивается индивидуальный и коллективный селевой риск на Черноморском побережье Кавказа от г. Новороссийска до г. Адлера. Представленные в виде карты результаты показывают, что ни в одном из 118 выделенных на рассматриваемой территории бассейнов водотоков, в которых возможно формирование селевых явлений, уровень индивидуального риска не превышает допустимое значение. При этом данный показатель заметно различается в разных бассейнах. Коллективный селевой риск для всей территории в целом оказался равным 0,86 человека в год (то есть в среднем от селевых потоков здесь гибнет менее одного человека в год).

Key words: debris flows; debris floods; mapping; debris flows risk.

Abstract: the article estimates the individual and collective debris flow risks in the Caucasian Black Sea coastal zone between the cities of Novorossiysk and Adler. The results presented as a map show that individual debris flow risk level does not exceed the permissible value in none of the 118 singled out watercourse basins in which formation of debris flow events is possible. At the same time this index varies a lot in different basins. The collective risk for the territory in whole turned out to be 0,86 person per year (i.e. in the region on average less than one person is killed by debris flows in a year).

Введение

Согласно оценке В.Ф. Перова [1] Черноморское побережье Кавказа характеризуется *слабой* степенью селевой опасности и лишь в высокогорных зонах — *средней* (рис. 1). При этом в XX и начале XXI века здесь неоднократно сходили катастрофические сели со значительными разрушениями и человеческими жертвами (первые упоминания о них относятся к концу XIX века) [4].

Наиболее часто селевые явления отмечались в районах Новороссийска, Туапсе, Лазаревского, а также в бассейне р. Мзымты. Особенности проявления селевой деятельности в этом регионе изучались А.И. Воейковым и др. [4], В.Е. Иогансон [14], Л.А. Шишкиной [27], В.М. Тройским [16], В.И. Ворошиловым [6–8], А.М. Лехатиновым [17], А.И. Шеко и

др. [26], С.М. Флейшманом [20, 21], В.Ф. Перовым [1, 18], В.В. Хворостовым [23, 24], Ю.В. Ефремовым [11–13] и др.

В таблице 1 представлены наиболее катастрофические чрезвычайные ситуации, связанные со сходом селей на Черноморском побережье Кавказа.

Интерес к количественной оценке степени селевой опасности в данном регионе определяется активизировавшимся в последние годы его освоением, особенно в связи со строительством олимпийских объектов. Активизация селевой деятельности в настоящее время создает угрозу федеральной автомобильной дороге М-4, автодорогам республиканского и местного значения, железной дороге на участке от верховьев р. Туапсе до Адлера и выше по долине р. Мзымты, а также многочисленным зданиям и сооружениям в долинах рек.

Условия формирования селевых потоков на Черноморском побережье Кавказа

Условия формирования селевых потоков в исследуемом регионе, а также активность и интенсивность селевой деятельности определяются климатическими, литологическими и геоботаническими условиями.

Климатические условия Черноморского побережья Кавказа характеризуются довольно высокими среднегодовыми температурами воздуха — от 3,7 °С по данным метеостанции (м/с) «Ачишхо» до 13,8 °С по данным м/с «Лазаревское». В течение года самая высокая средняя температура воздуха отмечается в июле–августе, а самая низкая — в январе.

Продолжительный период с положительными температурами воздуха формирует благоприятные условия для длительного селеопасного периода. В низкогорье формирование селевых потоков возможно до 10–11 месяцев в году, в среднегорье — 7–9 месяцев, а в высокогорье — до 6–7 месяцев. Продолжительность основного селеопасного периода (когда формируется до 90% всех селевых потоков) составляет соответственно 9; 5 и 4 месяца. Большое количество оттепелей в течение зимнего периода на фоне высоких температур воздуха с высокой вероятностью выпадения жидких осадков на снежный покров в среднегорье и высокогорье создает благоприятные условия для образования

Опасность селей:

Категория опасности	Площадь территории, занятой селевыми бассейнами, %	Максимальный объем единовременных выносов, тыс. м³
 очень низкая	менее 5	менее 10
 низкая	5–10	10–50
 средняя	10–50	50–500
 высокая	50–75	500–3000
 очень высокая	более 75	более 3000

дождевой

 дождевой и ледниковый с преобладанием дождевого

Рис. 1. Фрагмент карты селевой опасности Северного Кавказа [1]

Ведущую роль в отношении интенсивности развития селевых процессов играют жидкие осадки [22]. На Черно-

также с высотой (м/с «Ачишхо» — 3242 мм). Максимум осадков приходится на холодный период года — с ноября по март, когда в отдельных районах выпадает до 60–70% их годовой

Таблица 1

Наиболее катастрофические случаи схода селевых потоков на Черноморском побережье Кавказа

Места схода селей	Дата	Сопутствующие природные явления, ущерб
Один из районов г. Новороссийска; Старошоссейная, Кольцовская, Краснозеленых, Нефтяная балки	02.09.1929	Засыпаны селевыми отложениями основные магистрали. Сумма выпавших осадков — 153 мм
Один из районов г. Новороссийска; балки южного склона Мархотского хребта	28.07.1931	Поврежден элеватор, нарушено водоснабжение, повреждены железнодорожные (ж/д) пути, нарушено ж/д сообщение. Засыпаны селевыми отложениями основные магистрали. Сумма выпавших осадков — 147 мм
Краснодарский край, г. Туапсе, р. Туапсе	Август 1945	Выход водяного смерча на сушу. Разрушено много домов, сорваны мосты, повреждены гидротехнические сооружения.
Краснодарский край, г. Туапсе, р. Туапсе	01.08.1991	Разрушено ж/д полотно, водопровод, газопровод, ЛЭП. Ширина потока достигала нескольких десятков метров, а высота подъема воды — 11–12 м. Погибло 30 человек. Пропало без вести 11 человек
Долина реки Цемесс, г. Новороссийск, Широкая балка	07.08.2002– 09.08.2002	Сумма выпавших осадков — 50,3 мм. Затоплены центральные улицы города. Смыт мост, разрушены многие дома и пансионаты на побережье
Краснодарский край, перегон Сочи — Туапсе	07.08.2002	Из-за сильных дождей между станциями Якорная щель и Чемитоквадже на перегоне Сочи — Туапсе сошел селевой поток, который разрушил 300 м железнодорожного полотна и повредил 4 опоры ЛЭП
Туапсинский район, ж/д перегон Туапсе — Сочи Северо-Кавказской железной дороги (СКЖД) в районе станции Водопадный	21.06.2005	Сумма выпавших осадков — 120 мм. В 3:15 по московскому времени из-за длительных и обильных дождей произошел сход селевых масс с горного массива на железнодорожное полотно в момент прохождения грузового поезда. В результате сошли с рельсов 18 грузовых вагонов, три из которых были сброшены селем в море
Краснодарский край, Туапсинский район, участок Шепси — Водопадный СКЖД	06.05.2011	Жертв и пострадавших в результате стихийного бедствия не было. Движение на перегоне было закрыто. На несколько часов было задержано движение пассажирских поездов № 301 «Минск — Адлер», № 103 «Москва — Адлер» и № 101 «Москва — Адлер»
Краснодарский край, Красная Поляна, п. Эсто-Садок, ручей Рудничный	21.07.2011	За 3 часа, по данным метеостанции «Лаура», выпало 50 мм осадков. Основная часть осадков выпала за 40 минут. Занесена насосная станция. Жертв нет

нормы. В течение года неоднократно отмечается выпадение обильных осадков с высокой интенсивностью. На побережье ежегодно отмечаются ливни с интенсивностью более 30 мм в сутки, а в высокогорье — с интенсивностью 100 мм в сутки и более. Экстремально высокая интенсивность осадков отмечается обычно в июне–августе, что связано с выходом на сушу водяных смерчей, которые играют немаловажную роль в формировании селевых явлений в исследуемом регионе [2, 27].

В геологическом плане Черноморское побережье Кавказа можно разделить на две части. Северо-западная часть от Анапы до Туапсе сложена флишевыми и субфлишевыми карбонатными и терригенно-карбонатными отложениями мела и палеогена. Здесь породы интенсивно дислоцированы, смяты в сложные мелкие, часто изоклинальные складки, осложненные разрывами и мелкими надвигами [25]. Юго-восточная часть побережья от Туапсе до Адлера сложена субплатформенными отложениями мела, палеогена и неогена. В юго-восточной части территории слоистые отложения известняков и песчано-глинистых пород формируют обычно пологие складки [25]. Устойчивость горных пород к денудации и эрозии также различна в пределах рассматриваемой территории. Наибольшие площади комплексов пород с высоким эрозионным потенциалом распространены от Анапы до Новороссийска, от Криницы до Аше и от Головинки до границы России с Абхазией.

Активные тектонические процессы с высокой сейсмической активностью (до 9–10 баллов) также благоприятствуют селеобразованию. Наиболее активными в сейсмическом отношении являются участки от Анапы до Новороссийска и от Сочи до границы с Абхазией, включая долину р. Мзымты.

Значительная (более 80%) залесенность склонов Черноморского побережья Кавказа играет существенную роль в ограничении формирования селевых явлений. Наиболее распространены дубовые леса с грабом, ясенем, буком, яблоней, грушей и другими породами деревьев. Сравнительно небольшими массивами представлены грабовые, буковые, сосновые, пихтовые, каштановые леса. Между Анапой и Архипо-Осиповкой на месте вырубленных естественных лесов сформировались крупные участки кустарниковой и горностепной растительности. Значительная часть речных долин занята садовыми культурами.

В формировании селевых потоков огромную роль играет антропогенная деятельность, которая способствует интенсификации формирования селей. Особенно это касается территорий в районе г. Новороссийска и верховьев



Рис. 2. Селевое русло грязекаменного потока в верховьях р. Аше у села Лыгатх

р. Мзымты, участков строительства олимпийских объектов, где нередко производился спуск по руслам рек отвалов пород из карьеров и котлованов. В районе городов Туапсе и Сочи активизация селевых явлений связана со сплошными рубками леса, которые, как правило, не сопровождаются необходимыми рекультивационными мероприятиями.

Селевая деятельность в исследуемом регионе

В результате проведенных в 2011 году полевых обследований было выявлено три вида селевых явлений на Черноморском побережье Кавказа — грязекаменные, водокаменные и селевые паводки.

Классические *грязекаменные селевые потоки* (рис. 2) формируются в высокогорной части. Причинами их возникновения являются интенсивные короткие ливни, продолжительные обильные дожди и интенсивное таяние снега с выпадением жидких осадков. Они обычно формируются в летне-осенний период с июня по октябрь. Снеговые сели редки и формируются в марте–апреле, но возможны и в феврале. Повторяемость мелких грязекаменных потоков (до 1 тыс. м³) — 1 раз в 3–5 лет, более крупных (до 1 тыс. м³) — 1 раз в 15–20 лет, наиболее крупных (более 10 тыс. м³) — 1 раз в 50–100 лет.

Водокаменные и селевые паводки обычно отмечаются в средне- и низкогорье (рис. 3). Причинами их образования являются интенсивные ливни и выходы водяных смерчей на сушу. Наиболее часто они также образуются в летне-осенний период. Их повторяемость составляет 1 раз в 10 лет.

Помимо основных типов русловых селей в регионе распространены малые формы селевых явлений — склоновые и микроселевые.

Микросели (рис. 4) формируются обычно в районах, подверженных антропогенной деятельности (в местах пролегания автодорог, железных дорог, нового строительства в высокогорье). Такие типы селей могут сходиться ежегодно, объемы их не превышают первых десятков кубических метров.

Оценка селевого риска в регионе

К настоящему времени отечественных работ, посвященных оценке селевого риска, крайне мало. В работе А.Л. Шныпаркова и др. [28] впервые была произведена оценка индивидуального и коллективного селевого риска для всей территории России в мелком масштабе. В публикации А.Ю. Баринова [2] для территории Черноморского побережья Кавказа от Анапы до Туапсе делалась попытка оценки селевого риска и в качестве показателя использовалась его степень, определяемая шириной селевого русла и высотой уровня селя.

Для представляемой оценки селевого риска на Черноморском побережье Кавказа используются следующие показатели: (1) вероятность гибели человека в результате воздействия селевого потока в течение года на конкретной территории — *индивидуальный селевой риск*; (2) вероятное число жертв от селевых потоков за год на конкретной территории — *коллективный риск*.

Оценка индивидуального и коллективного селевого риска выполняется на основе формулы В.А. Елкина [10],



Рис. 3. Русло р. Хотецай, по которому проходят селевые паводки



Рис. 4. Склоновый микросель на обвально-оползневом склоне на участке железной дороги Туапсе — Адлер

предложенной им для расчета рисков, связанных с карстовыми явлениями. В работе [29] эта формула была слегка изменена и адаптирована для оценки лавинного риска в мелком масштабе. Для оценки риска на Черноморском побережье Кавказа использовался средний масштаб с дополнительным учетом заселенной площади, а также коэффициента летального исхода.

Формулы расчета индивидуального и коллективного рисков учитывают их зависимость от таких количественных показателей селевой деятельности, как повторяемость, продолжительность основного селеопасного периода, пораженность территории, и от социальных факторов (уязвимости населения в пространстве и времени, плотности и численности населения, заселенной площади, коэффициента летального исхода).

Оценка коллективного риска производится по формуле:

$$R_{mf} = P_{mf} \cdot V_s \cdot V_t \cdot d \cdot K_l \cdot F, \quad (1)$$

где R_{mf} — коллективный селевой риск, жертв/год; P_{mf} — повторяемость селей, раз в год; V_s — уязвимость населения в пространстве, д.ед.; V_t — уязвимость населения во времени, безразм.; d — плотность населения на оцениваемой территории, чел./км²; K_l — коэффициент летального исхода от селевых явлений, безразм.; F — заселенная площадь в пределах селеопасной территории, км².

Уязвимость населения в пространстве V_s (д.ед.) зависит от пораженности территории селевыми потоками:

$$V_s = S_a / S_p, \quad (2)$$

где S_a — площадь селеопасной территории в пределах изучаемого бассейна, S_p — общая площадь бассейна.

Уязвимость населения во времени V_t (д.ед.) зависит от возможного периода нахождения человека в опасной зоне в течение суток и в течение года:

$$V_t = (t_d / 24) \times (t_y / 365), \quad (3)$$

где t_d — время нахождения человека в селеопасной зоне в течение суток, часы; t_y — период нахождения человека в селеопасной зоне в течение года, равный продолжительности основного селеопасного периода, в течение которого сходит около 90% всех селевых потоков, сут. [19].

Расчет индивидуального селевого риска R_{ind} (1/год) выполнялся авторами по формуле:

$$R_{ind} = R_{mf} / D, \quad (4)$$

где D — численность населения на рассматриваемой территории, чел.

Оценка селевого риска производилась авторами в масштабе 1:200 000.

ID	NAME	Площадь, кв. км	MIN укл.	MAX укл.	МАКС. дождь	длина, км	высота истока	угол, град	угол, при	ширина долины	площадь	коэф.	ист.
1	Псоу	421,63	0,0	76,4	22,9	51156	1624	1,8	2,0	800	40920000	0,02	
2	Мзымта	895,40	0,0	79,5	25,6	81710	1889	1,3	1,5	750	61282500	0,05	
3	Херота	24,40	0,0	56,7	13,4	12540	459	2,1	2,3	500	6270000	0,1	
4	Кудепста	96,41	0,0	64,6	17,1	21180	709	1,9	2,1	100	2118000	0,2	
5	Хоста	98,03	0,0	74,9	18,7	22280	984	2,5	2,8	200	4456000	0,15	
6	Агура	13,33	0,0	66,2	16,8	7960	296	2,2	2,5	20	151200	0,1	
7	Мацеста	67,57	0,0	58,4	17,7	16710	652	2,2	2,5	250	4177500	0,25	
8	Бзырт	15,37	0,0	50,5	14,4	9250	380	1,5	1,7	60	555000	0,2	
9	Гналушка	3,91	0,0	44,2	12,3	4300	87	1,2	1,3	30	129000	0,3	
10	Верадзгинка	3,88	0,0	36,4	11,4	3190	90	1,6	1,8	60	193400	0,2	
11	Сони	288,56	0,0	84,3	25,0	42270	1380	1,8	2,0	300	12681000	0,2	
12	Бочаров ручей	3,45	0,0	72,9	26,0	3100	192	3,5	3,9	30	93000	0,01	
13	Мамайка	18,31	0,0	44,7	12,8	10940	634	3,3	3,7	45	492300	0,05	
14	Дигомис	103,49	0,0	51,5	15,4	19560	807	2,4	2,6	50	978000	0,1	
15	Битка	6,56	0,0	64,5	20,9	4920	321	3,7	4,1	45	225400	0,2	
16	Уч-Дере	8,00	0,0	50,5	14,7	4060	189	2,7	3,0	20	81200	0,25	
17	Лео	34,19	0,0	49,8	14,3	9730	239	1,4	1,6	50	486500	0,3	
18	Хобза	23,33	0,0	59,7	19,4	9970	279	1,6	1,8	300	2991000	0,05	
19	Бугу	19,87	0,0	62,7	18,5	8990	187	1,2	1,3	500	6495000	0,01	
20	Детляшхо	6,09	0,0	60,5	19,3	4760	197	2,4	2,6	50	238000	0,01	
21	Биранда	5,55	0,0	57,4	15,1	4720	227	2,8	3,1	50	236000	0,01	
22	Якорная Щель	25,12	0,0	52,3	16,8	7440	330	2,5	2,8	750	5580000	0,1	
23	Осокой	3,42	0,0	62,8	21,1	3300	177	3,1	3,4	20	66000	0,05	
24	Шаке	558,19	0,0	49,4	17,8	59970	1345	1,4	1,5	600	33582000	0,05	
25	Митросская	8,69	0,0	53,7	21,0	7180	317	2,5	2,8	20	143600	0,1	

Рис. 5. Фрагмент базы данных по 118 бассейнам водотоков Черноморского побережья Кавказа, в которых возможны селевые явления

На основе результатов полевых обследований Черноморского побережья Кавказа от г. Новороссийска до г. Адлера на карте было выделено 118 бассейнов водотоков, в которых возможны селевые явления. Для каждого из бассейнов были рассчитаны: морфометрические параметры (площадь, уклон, пораженность селевыми потоками), характеристика селевой деятельности (повторяемость), оценка численности населения, его плотности, заселенности территории. Вся эта информация была сведена в единую базу данных (рис. 5).

Повторяемость селевых потоков определялась по данным научных публикаций, характеризующим этот показатель на региональном уровне. Показатели продолжительности основного селеопасного периода были взяты из работы [3], численность и плотность населения — из данных переписи населения 2002 года [9]. Площадь заселенной территории оценивалась авторами во время проведения полевых работ.

Оценка коллективного и индивидуального селевого риска и построение карты индивидуального селевого риска производились для каждого из 118 изученных бассейнов с помощью программного продукта ArcGis. Затем выделялись районы с равными значениями индивидуального селевого риска по двум градациям: (1) для R_{ind} от 1×10^{-5} до 1×10^{-7} ; (2) для R_{ind} менее 1×10^{-7} (рис. 6). Эти градации соответствуют допустимому и приемлемому уровням индивидуального риска соответственно [5].

Результаты оценок показали, что на территории Черноморского побережья Кавказа коллективный селевой риск равен 0,86 человека в год, то есть в среднем за год от селевых потоков гибнет менее 1 человека.

Заключение

На Черноморском побережье Кавказа возможны селевые явления трех типов — грязекаменные, водокаменные

и селевые паводки. Последние имеют практически повсеместное распространение. Характерно также формирование микроселей антропогенного происхождения. Основные причины селевых явлений — интенсивные ливни и выходы водяных смерчей на сушу. Наряду с ливнями существенная роль принадлежит также антропогенному воздействию.

Результаты оценок показали, что крупные бассейны в регионе, за исклю-

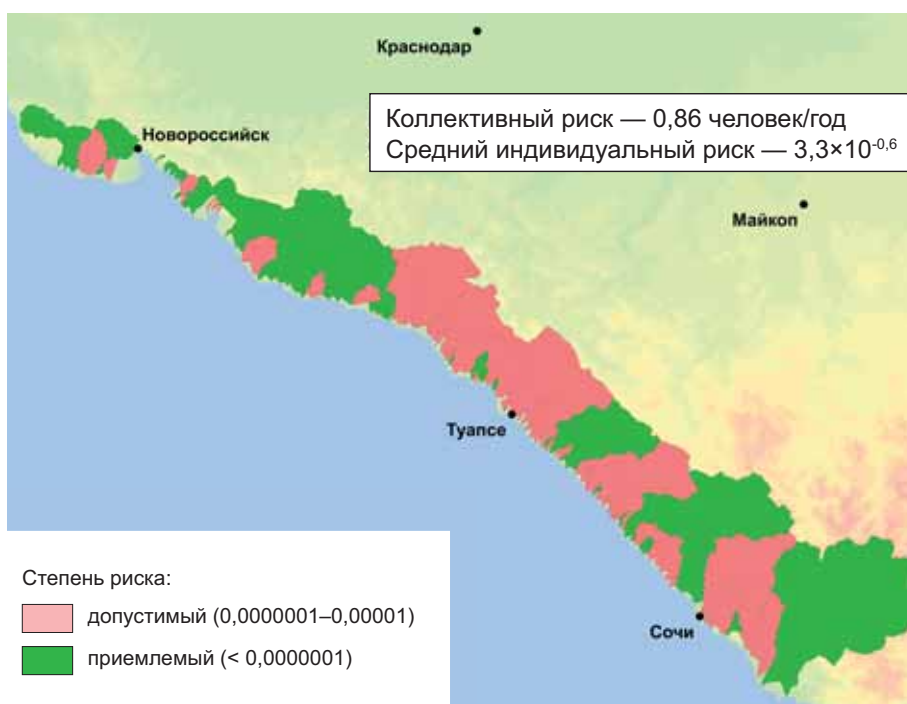


Рис. 6. Индивидуальный селевой риск на Черноморском побережье Кавказа

чением р. Туапсе, характеризуются приемлемым уровнем индивидуального селевого риска. Бассейны с допустимым уровнем риска сосредоточены на участках западнее г. Новороссийска, включая бассейны рек в районе Абрау-Дюрсо и Широкую балку, в которых отмечались селевые потоки, в районах населенных пунктов Кабардинка и Геленджик. К бассейнам с допустимым уровнем се-

левого риска относятся Джанхот, Хотелай, Бетта, практически все бассейны далее к юго-востоку между реками Бжид и Шуюк, Куапсе и Битха (исключая бассейны рек Шахе и Глубокая, балок Фоткина и Осохой), Сочи и Херота (исключая бассейн р. Агуры). Долины рек Мзымта и Псоу в их нижнем течении характеризуются приемлемым уровнем индивидуального селевого риска.

Таким образом, уровень индивидуального селевого риска на всем побережье Черного моря в пределах России не превышает допустимого и в среднем для всего побережья составляет $3,3 \times 10^{-6}$. Около 65% из 118 выделенных бассейнов Черноморского побережья Кавказа характеризуются допустимым уровнем этого риска и около 35% — приемлемым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций Российской Федерации. Южный федеральный округ. М.: Дизайн, Информация, Картография, 2007. 382 с.
2. *Баринев А.Ю.* Геоморфологическая оценка ливневой селеопасности Черноморского побережья России: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: Географический факультет МГУ, 2009. 24 с.
3. *Белая Н.Л.* Режим селевых явлений земного шара как объект моделирования на базе климатической информации // Материалы гляциологических исследований. 2004. Вып. 96. С. 152–158.
4. *Воейков А.И., Пастернацкий О.И., Сергеев М.В.* Черноморское побережье. СПб.: Типография П.П. Сойкина, 1898. 250 с.
5. *Воробьев Ю.Л.* Безопасность жизнедеятельности (некоторые аспекты государственной политики). М.: Изд-во МЧС, 2005. 376 с.
6. *Ворошилов В.И.* К вопросу изучения селей на Черноморском побережье Кавказа // Труды ВСЕГИНГЕО. 1970. Вып. 27. С. 174–181.
7. *Ворошилов В.И.* Селевые паводки и меры борьбы с ними в условиях Черноморского побережья Краснодарского края // Доклады Сочинского отделения Географического общества СССР. 1971. Вып. 2. С. 128–137.
8. *Ворошилов В.И.* Селевые паводки и меры борьбы с ними на южном склоне Северо-Западного Кавказа: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Сочи: Изд-во Сочинского филиала Краснодарского политехнического института, 1972. 25 с.
9. Всероссийская перепись населения 2002 г. Итоги переписи. 2004. URL: <http://www.perepis2002.ru>
10. *Елкин В.А.* Региональная оценка карстовой опасности и риска (на примере Республики Татарстан): автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. М.: ООО «11-й ФОРМАТ», 2004. 27 с.
11. *Ефремов Ю.В., Николайчук А.В., Шуляков Д.Ю., Лутков Д.А.* Катастрофические природные процессы на Северо-Западном Кавказе // Материалы конференции, посвященной 90-летию проф. С.П. Бальяна. Ереван: Изд-во Ереванского ун-та, 2007. С. 85–90.
12. *Ефремов Ю.В., Чернявский А.С., Николайчук А.В., Шуляков Д.Ю.* Селевые процессы на Западном и Северо-Западном Кавказе // Труды Международной конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита». Пятигорск, Россия, 22–29 сентября 2008 г. Пятигорск: Изд-во Института «Севкавгипроводхоз», 2008. С. 147–150.
13. *Ефремов Ю.В., Чернявский А.С.* Оценка селевой опасности на Черноморском побережье Кавказа // Тезисы научно-практической конференции грантодержателей. Краснодар: Изд-во СИЗ, 2009. С. 113.
14. *Иогансон В.Е.* Северо-Западный селевой район // Сели в СССР и меры борьбы с ними. М.: Наука, 1964. С. 24–26.
15. Карта селеопасных районов СССР масштаба 1:8 000 000 / под ред. В.Ф. Перова, С.М. Флейшмана. М.: Изд-во ГУГК, 1975.
16. Каталог селеопасных рек на территориях Северного Кавказа и Закавказья. Тбилиси: 1969. 340 с.
17. *Лехатинов А.М.* Сели // Современные геологические процессы на Черноморском побережье СССР. М.: Недра, 1976. С. 107–120.
18. *Перов В.Ф.* Северный Кавказ // Селеопасные районы Советского Союза. М.: Изд-во МГУ, 1976. С. 42–51.
19. *Перов В.Ф.* Селевые явления. Терминологический словарь. М.: Изд-во Московского ун-та, 1996. 46 с.
20. *Флейшман С.М.* Сели. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 312 с.
21. *Флейшман С.М., Перов В.Ф.* Сели. М.: Изд-во МГУ, 1986. 127 с.
22. *Харламова И.В.* Анализ метеорологических условий проявления селей на Черноморском побережье СССР с целью их прогноза // Труды ВСЕГИНГЕО. 1978. Вып. 119. С. 68–73.
23. *Хворостов В.В.* Некоторые особенности селевых процессов в бассейнах рек Черноморского побережья Краснодарского края // География Краснодарского края: антропогенные воздействия на окружающую среду. Краснодар, 1989. С. 26–33.
24. *Хворостов В.В.* Районирование селевых процессов на реках бассейнов Черного и Азовского морей (в пределах России) // Сборник работ гидрометеоцентра СК УГМС. 1987. Вып. 2 (20). С. 59–62.
25. *Чернявский А.С., Ефремов Ю.В.* Закономерности распространения селевых процессов на Черноморском побережье Кавказа // Геоморфология. 2010. № 2. С. 60–69.
26. *Шеко А.И., Лехатинов А.М., Максимов М.М., Пыrkova В.Н.* Оценка интенсивности проявления экзогенных геологических процессов при инженерно-геологическом картировании // Труды ВНИИ гидрогеологии и инженерной геологии. 1971. Вып. 43. С. 71–77.
27. *Шишкина Л.А.* Гидрометеорологический очерк района Туапсе // Туапсе и Туапсинский район. Краснодар, 1967. С. 78–93.
28. *Шныпарков А.Л., Грязнова В.В., Данилина А.В., Мартынов А.В.* Селевой риск в России // Проблемы снижения природных опасностей и рисков: материалы Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК-2009». Т. 2. М.: Изд-во РУДН, 2009. С. 39–44.
29. *Seliverstov Yu.G., Glazovskaya T.G., Shnyparkov A.L., Vilchek Ya., Sergeeva K.I., Martynov A.V.* Assessment and mapping of snow avalanche risk in Russia // Annals of Glaciology. 2008. V. 49. P. 205–209.

НАПОЛНЕНИЕ И СБРОС ВОДЫ ИЗ ПРОРЫВООПАСНОГО ОЗЕРА МЕРЦБАХЕРА (ТЯНЬ-ШАНЬ)

FILLING-UP AND RELEASE OF WATER FROM THE OUTBURST DANGEROUS MERZBACHER LAKE (TIEN-SHAN)

КОНОВАЛОВ В.Г.

Ведущий научный сотрудник Института географии РАН, г. Москва, vladgeo@gmail.com

KONOVALOV V.G.

A leading scientist of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, vladgeo@gmail.com

Ключевые слова: озеро Мерцбахера; Тянь-Шань; гидрограф прорывной волны; моделирование многолетнего режима; интенсивность таяния; температура воздуха; атмосферные осадки.

Аннотация: методом «срезки» пиковых расходов на гидрографе стока реки Иньльчек (левого притока реки Сарыджас), обусловленных прорывом озера Мерцбахера на Тянь-Шане, рассчитаны объемы сброса воды из озера в 1963–1967 и 1981–1987 годах. Эти данные использованы для реконструкции многолетнего ряда объема озера V_{ML} в 1930–2005 годах как эмпирической функции суммы осадков за июнь–сентябрь на метеостанции «Тянь-Шань». Среднеквадратичная ошибка расчета объема озера 12,8 млн m^3 , или 10,0–5,8%, в интервале $V_{ML} = 130–220$ млн m^3 . В 1930–2005 годах минимальный объем сброса воды составил 89,4 млн m^3 , а максимальный — 231,9 млн m^3 . Временной тренд объема V_{ML} за 1930–1997 показал возрастание накопления и сброса воды из оз. Мерцбахера, что согласуется с убывающим трендом суммы осадков за июнь–сентябрь на метеостанции «Тянь-Шань». Выполнено обновление высотно-площадных параметров оледенения в бассейне озера Мерцбахера на основе дешифрирования и оцифровки контуров ледников на изображениях со спутников «ЛАНДСАТ 7+» и «ТЕРРА» в 2002 году. Определение составляющих притока воды озера Мерцбахера включает следующие блоки: модель наполнения озера, экстраполяция температуры воздуха и осадков, интенсивность таяния ледников, средняя толщина моренного покрова и ее пространственное распределение, расчет испарения. В результате расчетов для 1952–1985 годов установлено, что в среднем 47,9% объема V_{ML} формируется за счет таяния ледников, а остальная вода (52,1%) поступает из внеледниковой части бассейна. Минимальное и максимальное значения этих источников притока воды в озеро соответственно 17,8; 84,6 и 14,8; 82,2%. Распространение катастрофической прорывной волны зарегистрировано на расстоянии 150 км от места ее образования.

Key words: Merzbacher Lake; Tien-Shan; outburst wave hydrograph; long-term regime modeling; melting intensity; air temperature; atmospheric precipitation.

Abstract: catastrophic release of water volume from the outburst hazardous Merzbacher Lake calculated in 1963–1967 and in 1981–1987 by the method of «cutting» peak on hydrograph of Inylchek river runoff. The Inylchek is left tributary of the Sarydzhaz river. These results used to reconstruct the long-term series of lake volume V_{ML} in 1930–2005 as an empirical function of precipitation for June–September at the meteorological station Tien-Shan. Root mean square error of calculations is 12.8 million m^3 , or 10,0–5,8%, in the range of $V_{ML} = 130–220$ million m^3 . In 1930–2005 minimum amount of water outburst was 89.4 million m^3 , while the maximum — 231.9 million m^3 . Temporal trend of V_{ML} in 1930–1997 shows increase in the accumulation and outburst of water from the Merzbacher Lake, which is consistent with a decreasing trend in precipitation for June–September at the meteorological station Tien-Shan. Upgrading of area-altitudinal parameters of glaciers in the area of Merzbacher Lake basin fulfilled by decoding and digitizing of glacier contours in images from the satellites LANDSAT 7+ and TERRA obtained in 2002. Determination of water inflow to the Merzbacher Lake includes the following components: model of lake filling, extrapolation of air temperature and precipitation, intensity of glaciers melting, average thickness of moraine cover and its spatial distribution, calculation of evaporation. Computations for the 1952–1985 found out that on average 47.9% of V_{ML} volume is formed due to melting of glaciers and the rest part of water (52.1%) comes from outside of glaciated part of the basin. Minimal and maximal values of these sources of water inflow into the lake are respectively 17.8, 84.6% and 14.8, 82.2%. The spread of catastrophic outburst waves is recorded at a distance of 150 km from the place of its formation.

ВВЕДЕНИЕ

По мере убывания прочности плотин прорывоопасные озера в высокогорных областях речных бассейнов можно классифицировать как моренные, моренно-ледниковые и ледниковые водоемы. Первые расположены в устойчи-

вых понижениях рельефа морены различного возраста, и плотина у этих озер состоит из более или менее сцементированного осадочного и обломочного материала. Моренно-ледниковые озера находятся вблизи от концов ледников, и вода в них подпружена плотиной из рыхлой современной морены. Плотина

может включать ледяное ядро. Ледниковые озера относительно недолговечны и возникают вследствие динамики самих ледников (отступления, наступания, быстрых подвижек). Плотины образует тело ледника. Обзорные материалы по распространению и характеристикам прорывоопасных озер различного генезиса содержатся в обобщающих работах, например [4, 5, 7, 25, 26, 34], а также в региональных каталогах [26, 27, 29–32].

Озеро Мерцбахера находится на Центральном Тянь-Шане (рис. 1) в устье свободной ото льда долины ледника Северный Иньльчек. Образуется оно вследствие сезонного таяния снега и ледников, расположенных в бассейне этого озера выше подпруживающей плотины и прорывается, как правило, в конце периода абляции. Телом плотины служит основной ствол соседнего ледника Южный Иньльчек, который некогда составлял одно целое с ледником Северный Иньльчек (рис. 1–4).

Прорывы моренно-ледниковых и ледниковых озер происходят достаточно часто и нередко достигают масштаба катастроф. В бассейнах рек, где существует или планируется активная хозяйственная деятельность, такие явления вносят, как известно [4, 5, 26, 34], существенные изменения в обычный режим стока и водопользования. В связи с этим характеристика условий формирования озера Мерцбахера, разработка методов прогноза дат его прорывов, расчеты объемов сброшенной из него воды и построение гидрографов прорывной волны, безусловно, актуальны в научном и практическом отношении. Настоящее исследование направлено на решение следующих задач:

1) оценить объемы сброса воды из озера Мерцбахера по данным о стоке реки Иньльчек (левого притока реки Сарыджас);

2) рассчитать многолетние колебания объемов сброса воды путем моделирования условий наполнения озера;

3) охарактеризовать вклады ледникового и сезонного снегового стоков в формирование озера.

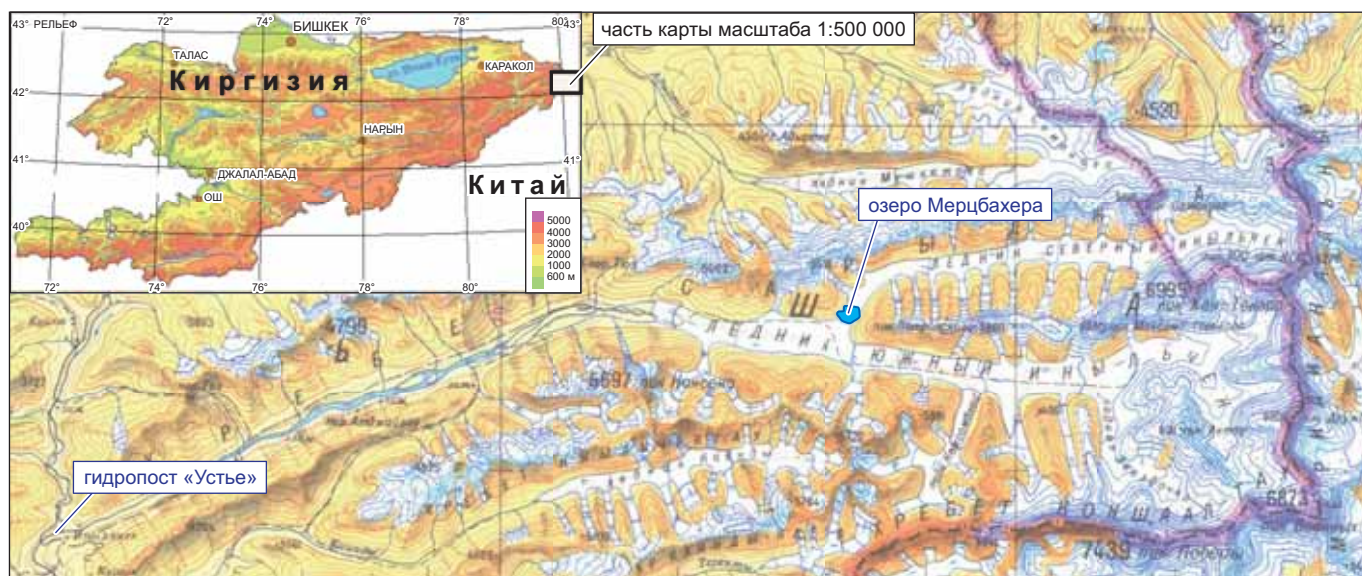


Рис. 1. Расположение района исследования на карте масштаба 1:500 000 (К-44-А) и в пределах территории Киргизии. Составлено по картам: а — 1:100 000 издания 1983–1984 годов (состояние местности на 1979 год); б — 1:200 000 издания 1975–1981 годов (состояние местности на 1969–1982 годы)

Исходные данные

История исследований рассматриваемого озера, обнаруженного экспедицией немецкого географа и альпиниста Готфрида Мерцбахера в 1903 году, насчитывает более 100 лет [24]. При этом значительная часть информации об элементах его режима страдает неполнотой или недостаточно надежна. Хотя по материалам аэрофото-съемки была получена батиметрическая карта озера, оценки его площади и объема существенно различаются [1, 2, 4–9, 17, 18]. По данным работы [9], объем озера в 1981 году был равен $0,129 \pm 0,005 \text{ км}^3$, площадь — $3,81 \text{ км}^2$,

средняя глубина — 33,85 м. Различные гипотезы о спусковом механизме, путях прорыва, размерах сбросных каналов пока не подтверждены. Недостаточно также данных прямых измерений элементов режима ледника Иньльчек и озера Мерцбахера в период его наполнения и сброса. Гидрометрические работы в устье реки Иньльчек, позволяющие получить гидрографы стока в периоды прорывов озера, проводились нерегулярно в течение ограниченного интервала времени. В имеющемся с 1932 года перечне дат начала и продолжительности сбросов воды из озера немало пробелов и приблизительных сведений [6].

Для решения поставленных задач в данной работе использованы следующие виды исходных данных:

1) *метеорологические данные*: многолетние ряды месячных сумм осадков, средней месячной температуры воздуха и баллов общей облачности на высокогорных метеостанциях «Койлю» (2800 м над уровнем моря) и «Тянь-Шань» (3614 м), а также продолжительность и интенсивность выпадения осадков [14, 21, 35];

2) *гидрологические данные*: результаты измерений в 1963–1967 и 1981–1987 годах стока и уровня воды в реке Иньльчек в периоды прорывов озера Мерцбахера [19, 22] (на гидро-

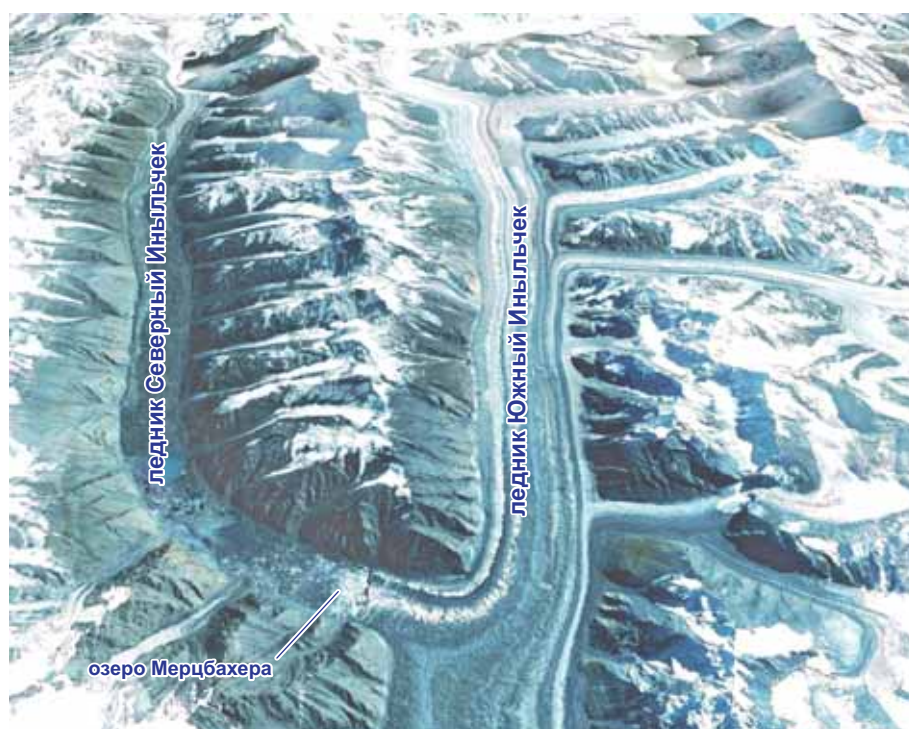


Рис. 2. Озеро Мерцбахера и ледники Северный Иньльчек и Южный Иньльчек



Рис. 3. Состояние озера Мерцбахера после прорыва в конце августа 1986 года. На переднем плане — озеро Верхнее, примыкающее к концу ледника Северный Иньльчек (фото В.Г. Коновалова с борта самолета АН-12 7 сентября 1986 года)

посту «Устье», который во время гидрометрических работ располагался в 50 км от конца ледника Иньльчек, площадь бассейна до гидропоста составляет 1730 км², средняя высота водосбора — 4120 м над уровнем моря);

3) гляциологические данные: (а) каталог ледников СССР [10]; (б) полевые измерения таяния на леднике Южный Иньльчек, выполненные сотрудниками Тянь-Шанской физико-географической станции [9]; (в) материалы дешифрирования и оцифровки контуров ледников на дистанционных изображениях бассейна озера Мерцбахера со спутников «ЛАНДСАТ 7+» и «ТЕРРА»; (г) результаты обработки векторных файлов ледников в целях регионализации оледенения на однородные группы и определения высотно-площадных параметров этих групп.

Определение объема воды, сброшенной из озера

Из-за исключительной труднодоступности рассматриваемого района для гидрометрических и топографических работ и специфических особенностей режима наполнения и сброса озера Мерцбахера до сих пор не получены точные сведения об объеме его ванны и о динамике его уровня в разные годы, не говоря уже о более детальной комплексной информации. В этой ситуации необходима разработка метода расчета объема воды, сброшенной из озера в период прорыва.

Ранее для расчета гидрографа прорывной волны Глазыриным и Соколовым [7], а также Виноградовым [4] были разработаны математические модели. Результаты расчетов по модели Глазырина — Соколова в значительной степени зависят от исходных данных, которые почти невозможно получить, — от площади поперечного сечения сбросного канала внутри ледника до начала прорыва, температуры воды в озере, его глубины, площади как функции глубины, эмпирического коэффициента. Поскольку у выхода реки Иньльчек из-под ледника невозможны измерения стока в период прорыва озера, результаты расчетов по модели Глазырина — Соколова сравнивать не с чем. Аналогичные заключения можно сделать и относительно модели Виноградова [4].

Вполне очевидно, что объем суточного стока реки Иньльчек в период прорыва озера (V_r) формируется одновременно в результате регулярного поступления воды от таяния снега и льда на площади водосбора, расположенной выше замыкающего гидроствора «Устье» (V_{gs}), а также вследствие катастрофического сброса воды из озера (V_{ML}). Резкое увеличение стока реки в период прорыва иллюстрируют графики на рис. 5. С помощью таких графиков нетрудно визуально определить даты начала и окончания прорыва и его продолжитель-



Рис. 4. Состояние озера Мерцбахера перед прорывом 10 октября 1989 года (фото В.Г. Коновалова с борта самолета АН-12 12 сентября 1989 года)

ность. До прорыва и после его окончания сток реки Иньльчек, по крайней мере в июне–сентябре, зависит практически только от суточного слоя таяния сезонного снега и многолетних запасов льда. Идея предложенного автором [12, 28] метода расчета объема сброса из оз. Мерцбахера заключается в выделении из гидрографа стока реки Иньльчек (на гидропосту «Устье») частей V_{gs} и V_{ML} путем «срезки» пиковых расходов воды в период прорыва озера. Эту «срезку» можно выполнять изложенными далее способами А и Б.

Способ А. Моделирование стока реки Иньльчек, не связанного со сбросом воды из озера Мерцбахера (объема V_{gs}). После чего объем V_{ML} получаем как разность ($V_r - V_{gs}$). Для расчета были использованы ежесуточные данные о стоке реки Иньльчек и материалы стандартных климатических наблюдений на метеостанции «Койлю».

Для расчета скользящих средних за пентаду расходов реки в июле–августе, не связанных с прорывом озера, было получено уравнение:

$$\bar{Q}_t = 0,77 \bar{Q}_{t-1} + 3,24\bar{\theta}_t - 14,53, \quad (1)$$

где $\bar{Q}_t$ — средний расход за текущую пентаду, м³/с; $\bar{Q}_{t-1}$ — то же со сдвигом на один интервал назад по времени t , м³/с; $\bar{\theta}_t$ — средняя температура воздуха на метеостанции «Койлю» за текущую пентаду, °С.

Сводный коэффициент корреляции уравнения (1) составляет 0,95, средняя квадратичная ошибка определения $\bar{Q}$ равна 8,5 м³/с. Уравнение (1) использовано в работе для расчетов того компонента гидрографа стока реки Иньльчек при прорыве озера, который сформировался вследствие ежедневного

таяния снега и льда на площади выше гидропоста «Устье» (см. рис. 5). Как видно из рис. 5, рассчитанный гидрограф достаточно хорошо согласуется со стоком, измеренным после окончания прорыва озера, когда единственным источником питания реки вновь становится объем талого снега и льда. Таким образом, уравнение (1) позволяет из всего объема стока Иньльчека в период прорыва выделить ту часть, которая образовалась в результате сброса из оз. Мерцбахера. Использование в данном случае скользящих средних за пентады расходов воды реки вместо ежесуточных значений принято для сглаживания случайных флуктуаций стока вследствие вероятных ошибок при гидрометрических измерениях. Располагая значениями средних расходов воды за две последовательные пентады и пятью величинами среднего суточного расхода в начале календарного периода, для которого выполняется скользящее осреднение, нетрудно от среднего пентадного представления информации перейти к ежедневным величинам. Для этой процедуры выведено общее выражение [12, 28].

Очевидно, что скользящие средние значения первой $\bar{x}_{n,1}$ и второй $\bar{x}_{n,2}$ пентад можно записать в следующем виде:

$$\bar{x}_{n,1} = 1/n(x_1 + \sum_{i=2}^{i=5} x_i); \quad (2)$$

$$\bar{x}_{n,2} = 1/n(x_6 + \sum_{i=2}^{i=5} x_i), \quad (3)$$

где n — количество осредняемых членов исходного ряда, $n = 5$; x_1, x_6 — первый и шестой члены исходного ряда соответственно.

После вычитания (3) из (2) и записи полученного результата относительно искомого значения x_6 получим:

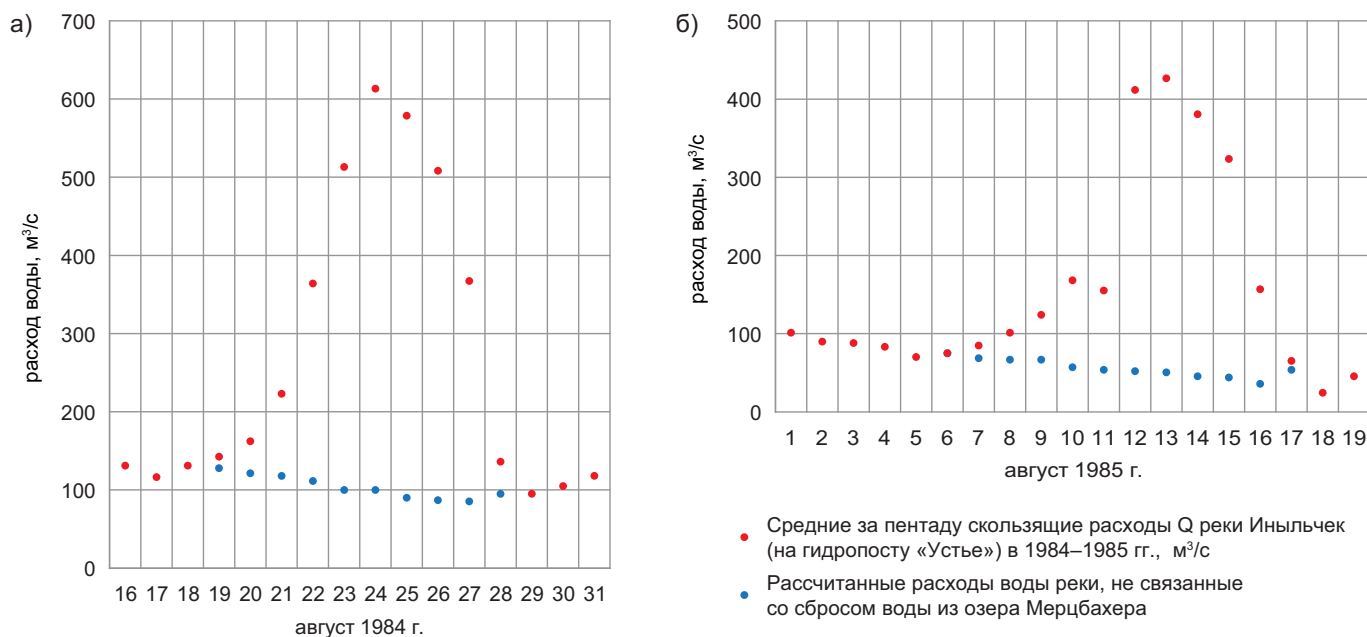


Рис. 5. Средние за пентаду скользящие расходы Q ($\text{м}^3/\text{с}$) реки Иныльчек (на гидропосту «Устье») в 1984–1985 годах. Голубым цветом (Q_{calcul}) изображены рассчитанные расходы воды реки, не связанные со сбросом воды из озера Мерцбахера

$$x_6 = x_1 + n(\bar{x}_{n,2} - \bar{x}_{n,1}) \quad (4)$$

аналогично:

$$x_7 = x_2 + n(\bar{x}_{n,3} - \bar{x}_{n,2}) \quad (5)$$

окончательно в общем виде:

$$x_{i+k} = x_k + n(\bar{x}_{n,k+1} - \bar{x}_{n,k}), \quad (6)$$

где N — общее количество членов исходного ряда, n — число членов в выборке для скользящего осреднения, $n = 5$; $i = n \div N$, $k = 1 \div (N - n)$.

Способ Б. Определение V_{gs} и V_{ML} в период прорыва озера можно выполнить также методом линейной интерполяции расходов воды между датами начала и окончания прорыва. Точность расчета V_{ML} — почти такая же, как и в предыдущем случае. Примеры распределения во времени общего объема воды, сброшенной из озера при прорыве, представлены на рис. 6.

В результате применения методов А и Б получены оценки сброса воды из оз. Мерцбахера в 1963–1967 и 1981–1987 годах, которые использованы для выявления зависимости объема V_{ML} от климатических факторов, влияющих на приток воды в озеро. В процессе поиска по данным многолетних наблюдений на метеостанциях «Койлю» и «Тянь-Шань» испытаны следующие варианты климатических факторов: (а) средняя летняя (июнь–август) температура воздуха T ; (б) суммы осадков за год, июнь–август $P_{(6-8)}$ и июнь–сентябрь $P_{(6-9)}$; (в) индексы баланса (I_B), аккумуляции (I_P) и таяния (I_T) осадков в виде:

$$\begin{aligned} I_{B(1)i} &= I_{Pi} - I_{Ti}, \\ I_{B(2)i} &= I_{Pi} - I_{Ti} - I_{Ci}, \end{aligned} \quad (7)$$

где

$$I_{Pi} = (I_{Pi} - \bar{I}_P) / \bar{I}_P,$$

$$I_{Ti} = (I_{Ti} - \bar{I}_T) / \bar{I}_T$$

$$I_{Ci} = (I_{Ci} - \bar{I}_C) / \bar{I}_C,$$

C — средний балл общей облачности; i — порядковый номер временного ряда; диакритический символ означает среднее значение соответствующего временного ряда.

Для расчета индексов баланса $I_{B(1)}$ и $I_{B(2)}$ использованы средние значения температуры воздуха и общей облачности за июнь–август или июнь–сентябрь и суммы осадков за год, июнь–август и июнь–сентябрь. В результате оказалось, что сумма осадков за июнь–сентябрь $P_{(6-9)}$ на метеостанции «Тянь-Шань» обеспечивает вполне приемлемое качество расчета V_{ML} (млн м^3) по уравнению:

$$V_{ML} = 260,1 - 0,5241P_{(6-9)}. \quad (8)$$

Квадрат коэффициента корреляции зависимости (8) равен 0,782, критерий качества этого уравнения составил 0,47, среднеквадратичная ошибка рас-

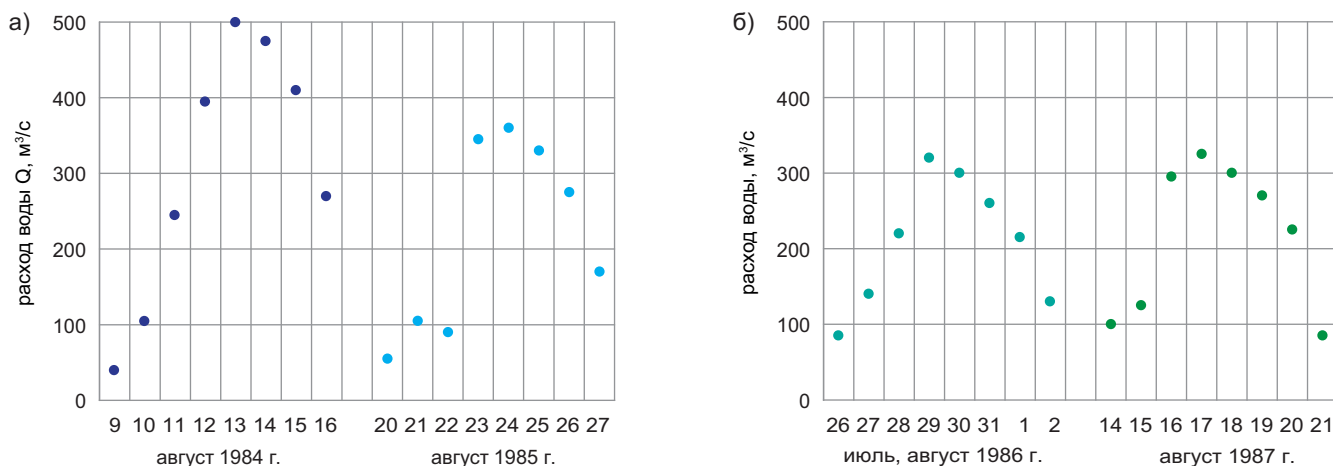


Рис. 6. Средние суточные расходы реки Иныльчек Q , обусловленные сбросом воды из озера Мерцбахера

Объемы сброса воды V_{ML} (млн м³) из оз. Мерцбахера в периоды прорывов и их обеспеченность $P_{rb}(V_{ML})^*$

Год	V_{ML}	$P_{rb}(V_{ML})$	Год	V_{ML}	$P_{rb}(V_{ML})$	Год	V_{ML}	$P_{rb}(V_{ML})$
1930	156,8	45,4	1956	145,3	29,7	1982	143,2	24,5
1931	155,8	42,8	1957	158,9	48,0	1983	181,8	76,8
1932	139,0	19,3	1958	154,7	40,2	1984	200,8	91,2
1933	182,5	78,1	1959	131,1	10,1	1985	164,7	52,0
1934	130,1	8,8	1960	186,2	83,3	1986	151,6	36,3
1935	141,1	21,9	1961	152,6	37,6	1987	150,0	33,7
1936	187,2	85,9	1962	154,7	38,9	1988	180,9	75,5
1937	165,7	55,9	1963	185,6	82,0	1989	208,2	92,5
1938	156,3	44,1	1964	121,2	4,9	1990	173,6	67,6
1939	141,1	20,6	1965	130,1	7,5	1991	228,1	96,4
1940	138,5	18,0	1966	170,4	61,1	1992	226,5	93,8
1941	179,9	74,2	1967	162,6	50,7	1993	195,6	87,3
1942	176,2	69,0	1968	170,4	59,8	1994	199,3	88,6
1943	161,5	49,3	1969	121,2	3,6	1995	230,7	97,7
1944	184,6	80,7	1970	134,3	14,1	1996	227,0	95,1
1945	165,7	54,6	1971	150,5	35,0	1997	231,9	99,0
1946	178,3	71,6	1972	137,9	16,7	1998	89,4	1,0
1947	200,3	89,9	1973	178,3	70,3	1999	143,6	25,8
1948	186,2	84,6	1974	137,4	15,4	2000	104,0	2,3
1949	128,5	6,2	1975	142,7	23,2	2001	144,1	27,1
1950	131,1	11,4	1976	165,7	53,3	2002	170,9	63,7
1951	155,8	41,5	1977	179,9	72,9	2003	158,5	46,7
1952	171,5	66,3	1978	183,0	79,4	2004	166,1	57,2
1953	144,2	28,4	1979	171,0	65,0	2005	146,3	31,0
1954	166,2	58,5	1980	146,3	32,4	min	89,4	-
1955	170,4	62,4	1981	132,7	12,7	max	231,9	-

* $P_{rb}(V_{ML})$ — вероятность (%) непревышения V_{ML} (интегральная функция нормального распределения V_{ML}).

чета — 12,8 млн м³, или 10,0÷5,8%, в интервале V_{ML} от 130 до 220 млн м³.

Результаты расчетов объемов сброса воды из оз. Мерцбахера в течение 1930–2005 годов приведены в табл. 1. В этом ряду минимальное и максимальное значения объемов V_{ML} оказались в идущих подряд календарных годах 1997-м и 1998-м, что привело к смещению оставшейся части ряда (рис. 7). Предположительно это могло быть следствием неточности измерения осадков в указанные два года на метеостанции «Тянь-Шань». Однако анализ многолетнего ряда наблюдений стока реки Сарыджас (называемой Аксу на территории Китая) с площадью водосбора 12 816 км² на расположенном ниже китайском гидропосту «Сехела» (Xiehela) [33] подтверждает наличие аномальных величин в эти же годы. Временной тренд объема V_{ML} за 1930–1997 годы показывает возрастание накопления и сброса воды из оз. Мерцбахера, что согласуется с убывающим трендом суммы осадков за июнь–сентябрь на метеостанции «Тянь-Шань». Отметим, что определение V_{ML} по фор-

муле (8) в 1981 году практически совпало с данными работы [9].

Определение составляющих притока в озеро Мерцбахера

Модель наполнения озера

В течение периода абляции сток в бассейне озера Мерцбахера формируется в результате таяния снега, льда и фирна на поверхности ледников и сезонного снега во внеледниковой части бассейна. Это значит, что даже когда ледники составляют относительно большую часть площади речного бассейна (> 50%), общий сток, измеряемый на замыкающем гидрологическом створе, включает существенный объем воды от таяния снега на склонах водосбора, свободных ото льда. В настоящее время доля площади оледенения составляет 57,7% от площади бассейна оз. Мерцбахера выше плотины, равной 322,7 км².

Методической основой расчета наполнения озера служит уравнение годового водного баланса речного бассейна в виде:

$$R = K_R (E + W_{gl}) + VW, \quad (9)$$

где R — сток, км³; P — осадки, км³; W_{gl} — таяние многолетних запасов льда и фирна, км³; E — испарение, км³; VW — динамические запасы воды в бассейне, км³; K_R — коэффициент трансформации в сток объема воды, поступившей на поверхность бассейна.

В уравнении (9) многолетний ряд объемов стока R — непосредственно измеряемая характеристика, а для определения других составляющих будем применять различные методы расчета. Для определения W_{gl} далее описан упрощенный вариант физико-статистической модели «РЕГМОД» для процессов аккумуляции и абляции снега и льда в гляциальных областях Центральной Азии, подробно изложенной в работах [13, 15, 16, 27].

Рассмотрим сначала ту часть стока, которая формируется в результате таяния на поверхности оледенения в бассейне. Примем, что к области абляции относится площадь ледника в интервале высот от его конца Z_e и до максимальной высоты снеговой границы в

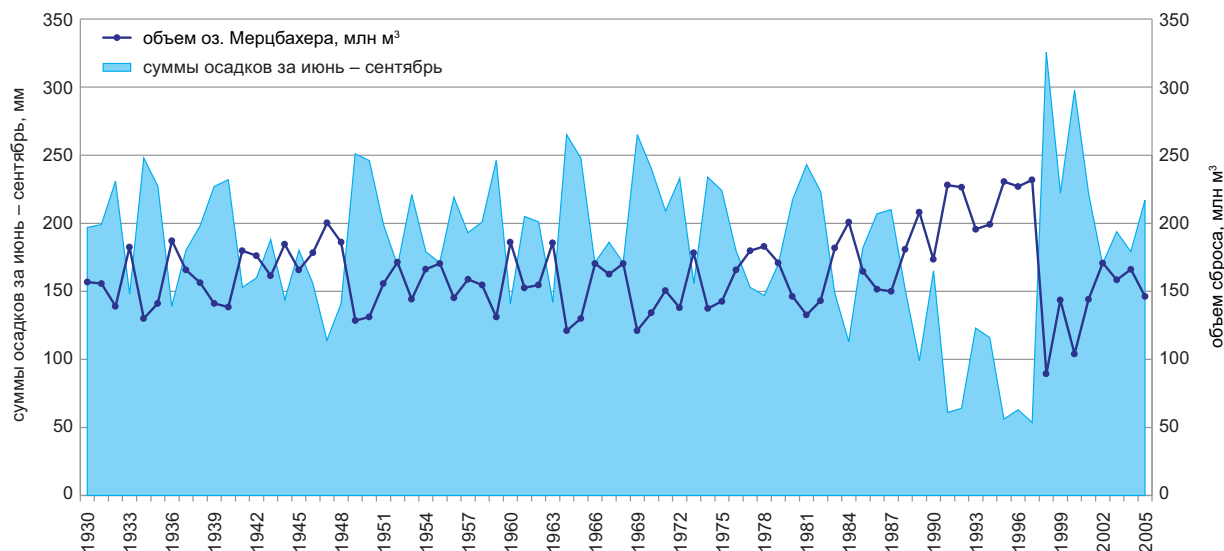


Рис. 7. Многолетнее изменение объема оз. Мерцбахера (Vol M_Lake)

конкретном году Z_{MAX} , а к области аккумуляции — площадь от высоты Z_{MAX} до начала ледника Z_b . Для расчета средних многолетних характеристик режима ледников вместо Z_{MAX} используется ее средняя величина Z_{fg} за известный интервал времени. Модель ледникового стока также должна учитывать возможность раздельной оценки объема таяния открытого льда и льда под моренным покровом.

Учитывая линейный характер связи между слоем таяния и высотой над уровнем моря [15], запишем в общем виде уравнения для определения годовых/сезонных объемов ледникового стока, который формируется в областях абляции V_{Ab} и аккумуляции V_{Ac} в интервалах высоты: $Z_e \div Z_{uml}$, $Z_{uml} \div Z_{MAX}$, и $Z_{MAX} \div Z_b$ (где Z_{uml} — верхний уровень распространения сплошного моренного покрова):

$$V_{Ab} = [M_1 (\tilde{Z}_{mor}) \cdot F_{mor} + M_2 (\tilde{Z}_{ice}) \cdot F_{ice}] \cdot K_{RAb}, \quad (10)$$

$$V_{Ac} = M_1 (\tilde{Z}_{Ac}) \cdot F_{Ac} \cdot K_{RAc}, \quad (11)$$

где $M_1 (\tilde{Z}_{mor})$, $M_2 (\tilde{Z}_{ice})$ и $M (\tilde{Z}_{Ac})$ — соответственно слои таяния на средних взвешенных высотах для площади сплошной морены F_{mor} , открытого льда F_{ice} и области аккумуляции F_{Ac} ; K_{RAb} и K_{RAc} — коэффициенты стока из областей абляции и аккумуляции; $F_{Ab} = F_{mor} + F_{ice}$ и $F(Ac)$ — соответственно площади областей абляции и аккумуляции.

Метод определения $M_1 (\tilde{Z}_{mor})$ детально описан в работах [13, 27]. Одним из основных компонентов в этом методе является расчет интенсивности таяния на открытой поверхности ледника.

Максимум внутригодового распределения осадков в бассейне реки Сарыджас, по данным метеостанции «Койлю», приходится на июнь–август. Летние снегопады в области оледенения останавливают таяние льда и фирна в течение периода выпадения осад-

ков, а затем вода, образовавшаяся в результате стаивания летнего снега, служит дополнительным источником наполнения озера. Учитывая различные условия стока из областей аккумуляции и абляции, расчет объемов поступления талой воды с площади оледенения выполняется отдельно для высотных интервалов $Z_e \div Z_{fg}$ и $Z_{fg} \div Z_{MAX}$. При этом принято, что из интервала $Z_e \div Z_{fg}$ вся вода попадает в русло реки, а в интервале $Z_{fg} \div Z_{MAX}$ при $Z_{MAX} > Z_{fg}$ часть объема таяния расходуется на внутреннее питание ледников. Для расчета объема поступления в целом для интервала высот $Z_e \div Z_{MAX}$ используется следующее выражение из работы [15]:

$$W_{gl} = V_{Ab} + (V_{Ac} - V_{Ab} / 3,5). \quad (12)$$

Из формул (10, 11) следует, что опорными точками на ледниках для расчета объемов таяния льда под мореной, открытого льда, старого фирна и летнего снега служат высоты Z_e , Z_{uml} , Z_{fg} , Z_{MAX} , Z_b и средние взвешенные высоты для интервалов $Z_e \div Z_{uml}$, $Z_{uml} \div Z_{MAX}$, $Z_e \div Z_{fg}$, $Z_{fg} \div Z_{MAX}$, и $Z_{MAX} \div Z_b$. Все высоты, за исключением Z_{MAX} и средних взвешенных, на момент каталогизации оледенения можно найти в справочнике [10]. Поскольку данные из него к настоящему времени устарели, вполне можно обновление высотно-площадных параметров оледенения в бассейне оз. Мерцбахера на основе дешифрирования и оцифровки контуров ледников на изображениях со спутников «ЛАНДСАТ 7+» и «ТЕРРА». В результате обработки векторных контуров ледников в среде ГИС «ИДРИСИ ТАЙГА» получены: общая площадь каждого ледника F_{gl} , его высотные параметры Z_e , Z_{fg} , Z_b , стандарт отклонения высот (СКО) на площади F_{gl} и распределение площади $F_{gl}(Z)$ как функции высоты над уровнем моря. Для расчетов площади в интервалах $Z_e \div Z_{uml}$, $Z_{uml} \div Z_{MAX}$, $Z_e \div Z_{fg}$, $Z_{fg} \div Z_{MAX}$, и

$Z_{MAX} \div Z_b$ принято, что интегральная функция $F_{gl}(Z)$ соответствует нормальному закону распределения. Площадь сплошной морены F_{mor} на леднике Северный Иньльчек заимствована из каталога [10]. На этом леднике находится основная часть (76,6%) моренного покрова на площади оледенения в бассейне оз. Мерцбахера. Впоследствии по величине F_{mor} и распределению $F_{gl}(Z)$ была найдена высота Z_{uml} .

По данным каталога [10], площадь оледенения в бассейне оз. Мерцбахера в 1943 году составляла 226,5 км². К 2002 году эта площадь сократилась до 186,1 км², или на 17,4%. В расчетах притока воды в оз. Мерцбахера в 1930–2005 годах использованы данные о современной площади оледенения, что могло несколько преуменьшить результаты в ранние годы. Скорее всего, это преуменьшение оказалось незначительным из-за включения в расчеты только части общей площади морены на ледниках.

Расчет составляющих притока воды по формулам (10–12) основан на применении метода генерализации параметров оледенения [11], когда отдельные ледники объединяются в характерные группы по принципу однородности значений ориентации и общей площади. По данным дешифрирования спутниковых снимков число ледников в бассейне оз. Мерцбахера в 2002 году равнялось 78, а после их генерализации число групп составило 45. Распределение ледников в бассейне озера иллюстрирует рис. 8. Высотно-площадные параметры групп ледников приведены в табл. 2. Наибольшего эффекта метод генерализации достигает в крупных речных бассейнах, например Амударья, Сырдарья, Инда, Ганга, Брахмапутра, Тарима.

Ключевым параметром в расчетах многолетнего режима наполнения оз. Мерцбахера является максимальная высота сезонной снеговой границы

Высотно-площадные параметры 45 групп ледников в бассейне оз. Мерцбахера в 2002 году*

№	Az	Limits F_{gl}	Sub	N_{Sub}	$\bar{Z}_e$	$\bar{Z}_b$	$\bar{Z}_{mean}$	CKO	Long	Lat	Vol	F_{gl1}	F_{gl2}	$F_{gl}(\bar{Z}_{mean})$
1	C	(0, 0,1]	1	3	3676,8	4033,9	3935,6	101,95	79,99	42,22	0,00213	0,253	0,084	0,042
2	C	(0,1, 0,2]	2	2	3552,1	3579,6	3576,3	7,38	79,99	42,22	0,00492	0,339	0,169	0,082
3	C	(0,2, 0,3]	3	2	3630,0	4205,3	3849,9	142,96	79,90	42,21	0,00901	0,558	0,279	0,138
4	C	(0,3, 0,4]	4	1	3926,0	4014,0	3937,5	24,59	80,11	42,23	0,01159	0,345	0,345	0,171
5	C	(0,4, 0,5]	5	2	3560,0	4158,3	3731,1	120,62	79,98	42,22	0,01597	0,894	0,447	0,220
6	C	(0,6, 0,7]	7	1	3670,0	4085,0	3799,5	185,38	80,02	42,23	0,02298	0,608	0,608	0,301
7	C	(0,7, 0,8]	8	1	3316,0	4339,0	3882,1	250,32	79,87	42,20	0,02819	0,720	0,720	0,358
8	C	(0,8, 0,9]	9	3	3592,4	4350,8	3973,3	214,23	80,00	42,21	0,03422	2,536	0,845	0,421
9	C	(0,9, 1,0]	10	1	4274,0	4760,0	4696,5	71,65	80,02	42,21	0,04009	0,964	0,964	0,489
10	C	(1,5, 2,0]	12	3	3529,1	4813,7	4200,7	317,54	79,97	42,20	0,08790	5,521	1,840	0,922
11	C	(2,0, 2,5]	13	1	3359,0	4845,0	4167,7	411,04	79,92	42,20	0,12306	2,441	2,441	1,222
12	C	(3,0, 4,0]	15	3	3625,3	4840,8	4236,4	310,30	80,01	42,20	0,19585	10,724	3,575	1,791
13	C	(5,0, 6,0]	17	1	3597,0	4945,0	4214,4	295,90	80,00	42,21	0,31858	5,369	5,369	2,688
14	C	(6,0, 8,0]	18	3	3804,8	5325,9	4372,2	357,53	80,07	42,21	0,44589	21,055	7,018	3,519
15	CB	(0,3, 0,4]	4	1	4043,0	4692,0	4313,0	280,46	80,02	42,22	0,01354	0,392	0,392	0,198
16	CB	(0,5, 0,6]	6	1	3613,0	4085,0	3952,7	170,74	80,01	42,22	0,02084	0,561	0,561	0,279
17	C3	(0, 0,1]	1	2	4045,3	4190,4	4126,6	44,50	79,88	42,19	0,00238	0,186	0,093	0,047
18	C3	(0,1, 0,2]	2	4	3566,3	3879,5	3679,0	102,96	79,92	42,21	0,00392	0,540	0,135	0,066
19	C3	(0,2, 0,3]	3	2	3571,0	3889,5	3654,2	86,58	80,00	42,22	0,00812	0,499	0,250	0,122
20	C3	(0,3, 0,4]	4	1	3930,0	4533,0	4484,7	150,45	79,93	42,20	0,00999	0,305	0,305	0,155
21	C3	(1,0, 1,5]	11	1	3308,0	4588,0	3953,9	192,13	79,87	42,19	0,05305	1,216	1,216	0,606
22	Ю	(0, 0,1]	1	4	4302,5	4694,8	4472,7	114,94	79,99	42,25	0,00165	0,201	0,050	0,026
23	Ю	(0,1, 0,2]	2	6	4698,7	5036,9	4878,3	137,72	79,86	42,26	0,00443	0,887	0,148	0,078
24	Ю	(0,2, 0,3]	3	4	4507,4	4887,6	4654,0	102,05	79,93	42,26	0,00749	0,945	0,236	0,122
25	Ю	(0,3, 0,4]	4	2	4283,9	4839,1	4651,5	166,93	80,04	42,26	0,01192	0,694	0,347	0,178
26	Ю	(0,5, 0,6]	6	1	4785,0	4970,0	4930,3	73,21	79,98	42,26	0,01935	0,527	0,527	0,271
27	Ю	(0,6, 0,7]	7	1	4261,0	5117,0	4659,7	235,84	79,83	42,24	0,02624	0,678	0,678	0,345
28	Ю	(0,9, 1,0]	10	1	4434,0	5587,0	5238,7	367,14	80,12	42,26	0,04118	0,986	0,986	0,507
29	Ю	(1,0, 1,5]	11	2	4252,6	4823,0	4521,7	178,97	79,86	42,25	0,04805	2,240	1,120	0,566
30	Ю	(1,5, 2,0]	12	1	4199,0	4970,0	4734,6	215,95	79,97	42,27	0,08757	1,841	1,841	0,932
31	Ю	(2,0, 2,5]	13	2	4301,1	5223,2	4925,2	258,37	80,05	42,27	0,11230	4,498	2,249	1,140
32	Ю	(2,5, 3,0]	14	1	4088,0	5006,0	4673,5	219,48	79,99	42,27	0,12772	2,518	2,518	1,271
33	Ю	(3,0, 4,0]	15	1	4388,0	5334,0	4791,6	314,52	80,19	42,28	0,17804	3,315	3,315	1,674
34	Ю	(4,0, 5,0]	16	2	4012,3	5217,4	4763,5	270,26	80,04	42,27	0,26022	9,075	4,537	2,287
35	Ю	(6,0, 8,0]	18	1	3966,0	5285,0	4827,8	291,99	80,10	42,27	0,46694	7,369	7,369	3,710
36	Ю	(8,0, 10,0]	19	1	4145,0	5587,0	4846,4	324,41	80,14	42,27	0,63549	9,513	9,513	4,787
37	ЮВ	(0,1, 0,2]	2	1	4545,0	4582,0	4551,5	14,11	79,86	42,25	0,00329	0,122	0,122	0,063

№	Az	Limits F_{gl}	Sub	N_{Sub}	$\bar{Z}_e$	$\bar{Z}_b$	$\bar{Z}_{mean}$	CKO	Long	Lat	Vol	F_{gl1}	F_{gl2}	$F_{gl}(\bar{Z}_{mean})$
38	ЮВ	(3,0, 4,0]	15	1	4182,0	5117,0	4686,9	316,01	79,83	42,24	0,16558	3,122	3,122	1,574
39	ЮВ	(4,0, 5,0]	16	1	3853,0	5263,0	4672,4	336,61	79,80	42,23	0,22446	4,017	4,017	2,023
40	ЮЗ	(0, 0,1]	1	1	4909,0	5269,0	4978,5	142,68	80,11	42,26	0,00195	0,079	0,079	0,042
41	ЮЗ	(0,3, 0,4]	4	1	4446,0	5213,0	5074,1	154,98	80,04	42,27	0,01112	0,333	0,333	0,174
42	ЮЗ	(0,5, 0,6]	6	1	4629,0	5165,0	5041,8	190,95	80,07	42,27	0,02012	0,545	0,545	0,281
43	ЮЗ	(1,0, 1,5]	11	1	4318,0	4986,0	4771,3	134,68	79,95	42,26	0,04493	1,060	1,060	0,539
44	В	(0,3, 0,4]	4	1	4679,0	4945,0	4829,2	128,14	80,01	42,20	0,01062	0,321	0,321	0,166
45	3	(70,0, 100,0]	22	1	3317,0	5650,0	4276,3	494,88	80,13	42,25	7,70047	75,149	75,149	37,597

* № — номер группы; Az — ориентация ледника; Limits F_{gl} — пределы площади (км²), использованные при регионализации оледенения; Sub — номер подгруппы; N_{Sub} — число ледников в подгруппе; $\bar{Z}_e$, $\bar{Z}_b$, $\bar{Z}_{mean}$ — соответственно высоты конца, начала и многолетней фирновой границы (м над уровнем моря); CKO — стандарт отклонения высот (м); Long — долгота (град. в.д.), Lat — широта (град. с.ш.); Vol — суммарный объем ледников в группе (км³); F_{gl1} — общая площадь ледников в группе, $F_{gl2} = F_{gl1}/N(Sub)$ — площадь «среднего ледника» в группе, $F_{gl}(\bar{Z}_{rehe})$ — площадь от $\bar{Z}_e$ до $\bar{Z}_{mean}$.

Z_{MAX} , поскольку от нее зависит соотношение стокообразующих площадей (лед под мореной, открытый лед, старый фирн, сезонный снег) на ледниках в течение рассматриваемого интервала 1930–2005 годов. На основании результатов предыдущих исследований [13, 15] значения Z_{MAX} для 45 групп ледников рассчитаны по следующим формулам:

$$Z_{MAX}(i)_k = Z_e(k) + \Delta Z_{MAX}(k) \times P_{rb}(V_{ML})_i; \quad (13)$$

$$\Delta Z_{MAX}(k) = Z_b(k) - Z_e(k), \quad (14)$$

где i — номер года, k — номер группы, $P_{rb}(V_{ML})_i$ — вероятность неперевышения V_{ML} в i -м году из табл. 1, д.ед.; $Z_b(k)$, $Z_e(k)$ берем из табл. 2.

Поскольку объем озера получен по формуле (8) как функция суммы осадков за июнь–сентябрь на метеостанции «Тянь-Шань», выражение (13) описывает обратную линейную зависимость между Z_{MAX} и суммой осадков, то есть, при прочих равных условиях, чем больше осадков, тем ниже $Z_{MAX}(i)_k$, и наоборот.

Экстраполяции температуры воздуха и осадков

Общий вид формулы для расчета объемов осадков, испарения и других переменных как одномерных функций высоты z в заданном интервале $Z_{min} \div Z_{max}$ следующий:

$$X_z = \int_{Z_{min}}^{Z_{max}} x(z)s(z)dz, \quad (15)$$

где $s(z)$ — распределение площади по высоте в интервале $Z_{min} \div Z_{max}$.

Применив к интегралу от произведения двух функций $x(z)$ и $s(z)$ обобщенную теорему о среднем в интегральном исчислении, получим:

$$X_z = x(\bar{z}) \int_{Z_{min}}^{Z_{max}} s(z)dz, \quad (16)$$

где

$$F = \int_{Z_{min}}^{Z_{max}} s(z)dz —$$

площадь в интервале $Z_{min} \div Z_{max}$.

В итоге:

$$X_z = x(\bar{z})F, \quad (17)$$

или для среднего значения:

$$\bar{x} = x(\bar{z}), \quad (18)$$

где $\bar{z}$ — некоторая высота в интервале $Z_{min} \div Z_{max}$.

В работе [3] показано, что в случаях, когда функция $x(z)$ аппроксимирована параболой, общий вид формулы для определения среднего значения переменной x в интервале $Z_{min} \div Z_{max}$ следующий:

$$\bar{x}(\bar{z}) = x(z_0)[1 + k_2(\bar{z} - z_0) + k_3(\bar{z} - z_0)^2] + x(z_0)k_3\sigma_z^2, \quad (19)$$

а для линейного варианта $x(z)$:

$$\bar{x}(\bar{z}) = x(z_0)[1 + k_2(\bar{z} - z_0)], \quad (20)$$

где первый член в правых частях уравнений (19, 20) равен $\bar{x}(\bar{z})$ при заданном значении $x(z_0)$ на высоте z_0 ; k_2 , k_3 — эмпирические коэффициенты; σ_z^2 — дисперсия z в интервале $Z_{min} \div Z_{max}$.

Таким образом, для любых линейных и квадратичных функций имеет место строгое равенство между осредненной величиной зависимой переменной и ее значением на средней взвешенной высоте в интервале $Z_{min} \div Z_{max}$. Рабочая формула для расчета июньских осадков (P_6) в интервалах высот $Z_e \div Z_{MAX}$, $Z_e \div Z_{fg}$, $Z_{fg} \div Z_{MAX}$ на ледниках, полученная на основе общего выражения (19) имеет вид:

$$\bar{P}_6(\bar{z}) = P_6(\text{Койлю}, z_0 = 2,8) \times [1 + 2,29(\bar{z} - z_0) - 0,56(\bar{z} - z_0)^2]. \quad (21)$$

В данном случае символ $(\bar{z})$ относится к средней взвешенной высоте в каком-либо из интервалов $Z_e \div Z_{MAX}$, $Z_e \div Z_{fg}$, $Z_{fg} \div Z_{MAX}$.

Аналогично выглядят формулы для расчета осадков в июле и августе, но с другими значениями коэффициентов k_2 и k_3 .

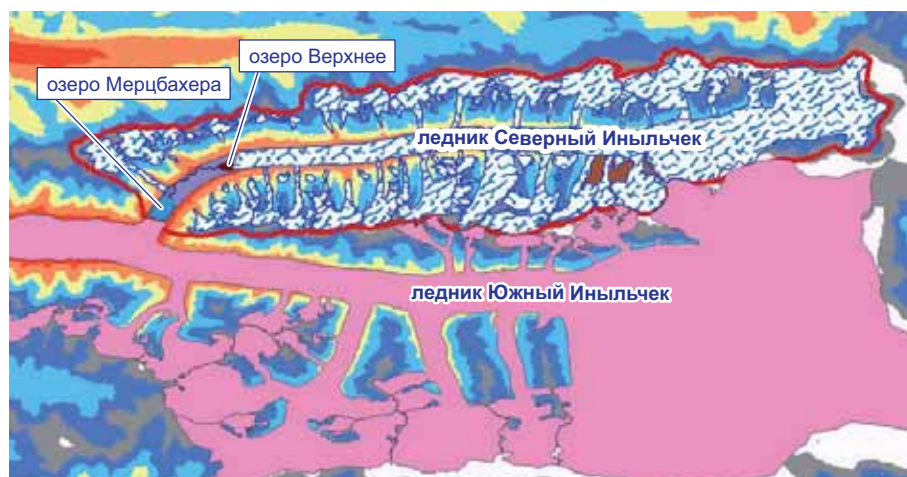


Рис. 8. Схема оледенения в бассейне оз. Мерцбахера по материалам дистанционного зондирования 2002 года со спутников «ЛАНДСАТ 7+» и «ТЕРРА». Граница бассейна выделена линией красного цвета

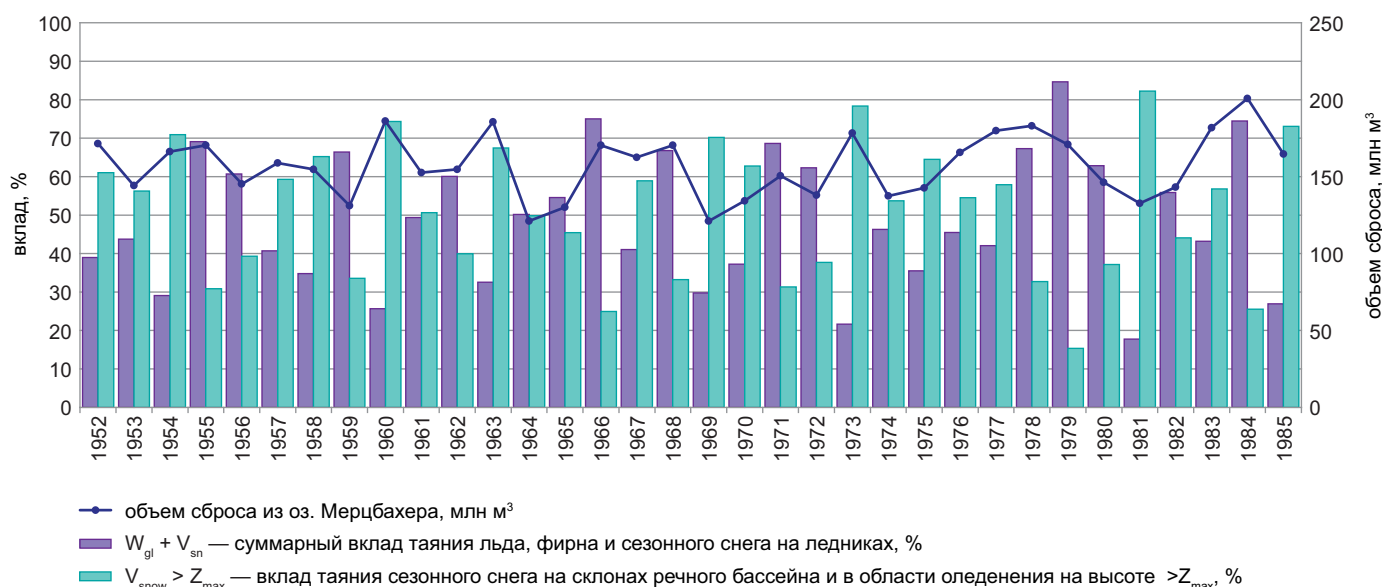


Рис. 9. Многолетнее изменение объемов сброса из оз. Мерцбахера (Vol M_Lake, млн м³) и составляющих притока воды в него

Интенсивность таяния ледников в бассейне озера Мерцбахера

В результате обработки экспедиционных измерений таяния льда на леднике Южный Иныльчек [9] была получена локальная формула для интенсивности таяния $M(z)$ (см) как функция средней температуры воздуха на метеостанции «Койлю» [12, 28]:

$$M(z) = 0,75 \cdot \bar{T}(\text{Койлю}) + 1,2. (22)$$

Согласно выражению (22) при температуре воздуха менее минус 1,6 °С таяние становится меньше нуля, что может не соответствовать реальным условиям формирования стока. Для большей обоснованности расчета $M(z)$ как функции средней летней температуры воздуха впервые разработана формула суточной интенсивности таяния в июне–августе, по структуре аналогичная известному выражению для экстраполяции по высоте температуры воздуха:

$$M(z) = M(z_0) - \alpha(z - z_0). (23)$$

И конкретно для условий в бассейне оз. Мерцбахера:

$$M(z) = \{[0,75 \cdot \bar{T}(\text{Тяньшань}, z_0 = 0,36) + 1,2] \cdot 10 - \alpha(z - 3614)\} / N_d. (24)$$

где $\bar{T}$ (Тяньшань, $z_0 = 0,36$) — средняя летняя температура воздуха на метеостанции «Тянь-Шань», °С; z_0 — высота метеостанции «Тянь-Шань», $z_0 = 3614$ м над уровнем моря; α — градиент изменения таяния в зависимости от высоты над уровнем моря, $\alpha = 3,546$ мм/лето; N_d — число дней в июне–августе, $N_d = 92$.

Часть формулы (24) в квадратных скобках характеризует интенсивность суточного таяния в июне–августе на уровне метеостанции «Тянь-Шань», а

в другой части выполняется экстраполяция этой величины на заданную высоту z . Величина α определена автором по данным многолетних измерений летнего баланса массы на ряде ледников Центральной Азии из справочной работы [23].

Для расчета интенсивности таяния $M(h_c)$ под моренным покровом толщиной h_c использована простая формула:

$$M(h_c) = f(h_c) \cdot M, (25)$$

где $f(h_c)$ — безразмерная функция, имеющая в интервале $0 < h_c < 2$ см максимум и две характерные точки, в которых $f(h_c) = 1$; M — интенсивность таяния открытого льда.

В работах [13, 27] получено общее выражение для $f(h_c)$:

$$M(h_c)/M = K/(1 + \beta_1(h_c - h_0)^2), (26)$$

где $K = 1,34$; β_1 , h_0 можно установить по результатам экспериментальных измерений $M(h_c)$. Практические расчеты по формуле (26) упрощаются путем применения следующих выражений: для морены толщиной h_c от 0 до 2 см:

$$f(h_c)_1 = 0,1494 h_c^3 - 0,5642 h_c^2 + 0,4312 h_c + 0,999; (27)$$

для морены толщиной h_c более 2 см:

$$f(h_c)_2 = 1,4971 h_c^{-0,623}. (28)$$

Средняя толщина морены на конце ледника и ее распределение в интервале $Z_e \div Z_{uml}$

В результате исследований [13, 15, 27] установлено, что функция распределения средней толщины морены в интервале $Z_e \div Z_{uml}$ имеет вид:

$$\bar{h}_c(z) = H_c(Z_e) - H_c(Z_e)(z - Z_e)/(Z_{uml} - Z_e), (29)$$

где $H_c(Z_e)$ — средняя толщина морены на конце ледника.

Для расчета $\bar{h}_c(z)$ по формуле (29) необходимы данные об $H_c(Z_e)$. В работах [13, 15, 27] решение этого вопроса основано на региональной зависимости $H_c(Z_e) = f(\Omega)$, где Ω — отношение площадей сплошного моренного покрова и области абляции. Информация для определения Ω содержится в каталоге [10]. В качестве численной аппроксимации зависимости $H_c(Z_e) = f(\Omega)$ применяется следующая эмпирическая формула [27]:

$$H_c(Z_e) = 88 \cdot \Omega \text{ (см)}. (30)$$

Коэффициент корреляции для зависимости (30) равен 0,97. После того как найден способ определения, вычисление среднего слоя морены в интервале высот $\Delta z = z - Z_e$ трудностей не представляет и, учитывая линейный вид функции, выполняется по формуле:

$$\bar{h}_c(\Delta z) = H_c(Z_e) \cdot (\Delta Z_c - \Delta z) / \Delta Z_c, (31)$$

где $\Delta z \leq \Delta Z_c$ — заданный интервал высоты в пределах площади сплошного моренного покрова на ледниках, $\Delta Z_c = Z_{uml} - Z_e$.

Расчет испарения

Общий вид формул для определения объема испарения E_v (км³/год) в i -й группе ледников следующий:

$$E_v = e(\bar{z}) \cdot F_{Ab}; (32)$$

$$e(\bar{z}) = P_e(\bar{z}) \cdot th[P_s(\bar{z}) / P_e(\bar{z})]; (33)$$

$$P_s(\bar{z}) - M(\bar{z}) = 0; (34)$$

$$P_e = 0,0018 (25 + T_s(\bar{z})^2 (100 - r(\bar{z}))); (35)$$

$$E_n(\bar{z}) = 6,1 \cdot 10 \cdot \{7,45 \cdot T_s(\bar{z}) / [235 + T_s(\bar{z})]\} (36)$$

$$E(\bar{z}) = 0,1525^2 - 3,2132 + 14,34; \quad (37)$$

$$r(\bar{z}) = E(\bar{z}) / E_n(\bar{z}), \quad (38)$$

где e — суммарный за лето (июнь–август) слой испарения, мм; $\bar{z}$ — средняя взвешенная высота в интервале

$Z_e \div Z_{MAX}$; F_{Ab} — площадь области абляции; th — гиперболический тангенс; T_s — средняя за лето температура воздуха; P_e — наибольшая возможная величина испарения при данных условиях увлажнения, P_s — сезонная сумма осадков.

Формула (33) — это известное уравнение Ольдекопа для расчета испарения, (34) — уравнение баланса аккумуляции и абляции на высоте фирновой границы, (35) — формула Романенко [20] для расчета наибольшей возможной величины испарения P_e

Таблица 3

Характеристики притока воды в озеро Мерцбахера в 1952–1985 годах*

Год	V_{ML}	V_{sn1} ($< Z_{MAX}$)	W_{gl}	W_{run}	V_{sn2} ($> Z_{MAX}$)	W_{run}/V_{ML}	V_{sn2}/V_{ML}	F_{gl} ($Z_{MAX}-Z_e$)	F_{gl} (Z_b-Z_{MAX})
	млн м ³					%		км ²	
1952	171,5	48,129	18,709	66,838	104,649	39,0	61,0	173,3	12,8
1953	144,2	44,197	18,875	63,072	81,162	43,7	56,3	175,4	10,7
1954	166,2	37,051	11,286	48,337	117,909	29,1	70,9	161,0	25,1
1955	170,4	90,523	27,291	117,813	52,626	69,1	30,9	156,8	29,3
1956	145,3	39,769	48,406	88,175	57,107	60,7	39,3	59,2	126,9
1957	158,9	54,511	10,169	64,680	94,228	40,7	59,3	135,3	50,8
1958	154,7	11,742	42,077	53,818	100,898	34,8	65,2	39,1	147,0
1959	131,1	74,202	12,895	87,097	44,035	66,4	33,6	128,6	57,5
1960	186,2	25,950	21,816	47,765	138,396	25,7	74,3	152,2	33,9
1961	152,6	18,891	56,476	75,367	77,252	49,4	50,6	45,3	140,8
1962	154,7	57,030	35,881	92,911	61,805	60,1	39,9	114,2	71,9
1963	185,6	49,622	10,790	60,412	125,225	32,5	67,5	178,8	7,3
1964	121,2	27,087	33,703	60,789	60,384	50,2	49,8	74,5	111,6
1965	130,1	17,460	53,500	70,960	59,123	54,5	45,5	40,5	145,6
1966	170,4	25,556	102,346	127,902	42,537	75,0	25,0	121,6	64,5
1967	162,6	36,980	29,781	66,761	95,816	41,1	58,9	106,5	79,6
1968	170,4	30,124	57,164	87,288	83,151	51,2	48,8	147,1	39,0
1969	121,2	13,135	22,944	36,079	85,095	29,8	70,2	23,6	162,5
1970	134,3	15,812	34,177	49,989	84,287	37,2	62,8	33,4	152,7
1971	150,5	19,908	56,914	76,822	73,701	51,0	49,0	74,5	111,6
1972	137,9	82,676	3,271	85,948	51,997	62,3	37,7	156,8	29,3
1973	178,3	4,672	33,931	38,604	139,697	21,7	78,3	19,6	166,5
1974	137,4	39,893	23,697	63,590	73,831	46,3	53,7	98,6	87,5
1975	142,7	15,726	34,935	50,661	92,001	35,5	64,5	66,7	119,4
1976	165,7	60,952	14,428	75,380	90,342	45,5	54,5	168,0	18,1
1977	179,9	43,375	32,304	75,679	104,194	42,1	57,9	170,8	15,3
1978	183,0	58,547	64,584	123,131	59,886	67,3	32,7	164,7	21,4
1979	171,0	37,624	107,073	144,698	26,265	84,6	15,4	156,9	29,2
1980	146,3	21,618	70,353	91,971	54,359	62,9	37,1	59,2	126,9
1981	132,7	7,796	15,785	23,581	109,123	17,8	82,2	16,1	170,0
1982	143,2	53,673	26,365	80,037	63,148	55,9	44,1	141,4	44,7
1983	181,8	63,679	14,834	78,513	103,299	43,2	56,8	180,1	6,0
1984	200,8	21,259	128,275	149,534	51,303	74,5	25,5	177,2	8,9
1985	164,7	10,155	34,176	44,331	120,343	26,9	73,1	28,2	157,9
Средн.	157,3	37,0	38,5	75,5	81,7	47,9	52,1	110,1	76,0
Мин.	121,2	4,7	3,3	23,6	26,3	17,8	15,4	16,1	6,0
Макс.	200,8	90,5	128,3	149,5	139,7	84,6	82,2	180,1	170,0

* V_{ML} — объем оз. Мерцбахера, $V_{sn1} < Z_{MAX}$ — объем таяния летнего снега ниже Z_{MAX} ; W_{gl} — объем таяния льда под мореной, открытого льда и старого фирна при $Z_{MAX} > Z_{fg}$; Z_{fg} — высота фирновой границы; $W_{run} = V_{sn1} + W_{gl}$; $V_{sn2} > Z_{MAX} = V_{ML} - W_{run}$ — объем таяния летнего снега выше Z_{MAX} ; $F_{gl}(Z_{MAX}-Z_e)$ и $F_{gl}(Z_b-Z_{MAX})$ — площадь ледников в указанных интервалах высоты.

при данных условиях увлажнения (мм/мес.); (36) — формула Магнуса для расчета насыщенного парциального давления водяного пара E_n при данной температуре воздуха; (37) — региональная зависимость парциального давления водяного пара от высоты; (38) — выражение для определения относительной влажности воздуха.

Исследования и контроль различных методов расчета испарения показали [36], что формула Романенко позволяет получать результаты, близкие к данным испарителя. Для вывода формулы (37) использованы наблюдения метеостанций и данные аэрозондирования атмосферы (всего 320 пунктов) на территории Центральной и Высокой Азии, расположенных в интервалах 58,33–118,62° в.д., 30,18–51,12° с.ш. на высоте 360–5583 м над уровнем моря.

Таким образом, рассматриваемый метод включает следующие компоненты:

- уравнения (10, 11) для моделирования сезонного стока от таяния снега и льда в областях аккумуляции и абляции ледников;
- обоснованное выражение (12) для определения интегрального коэффициента стока;
- комплекс расчетных формул для определения осадков, температуры и влажности воздуха, интенсивности таяния льда под мореной, открытого льда и испарения в интервалах высоты $Z_e \div Z_{MAX}$, $Z_{uml} \div Z_{MAX}$, $Z_e \div Z_{fg}$, $Z_{fg} \div Z_{MAX}$, и $Z_{MAX} \div Z_b$ на ледниках.

Перечисленные выше пункты, а также наличие исходной гляциологической и метеорологической информации считаем достаточными для расчета составляющих суммарного стока из области оледенения в бассейне озера Мерцбахера.

ДИНАМИКА ПРИТОКА ВОДЫ В ОЗЕРО МЕРЦБАХЕРА

Наполнение озера Мерцбахера происходит почти исключительно за счет притока талой снеговой и ледниковой воды с площади бассейна, расположенной выше подпруживающей плотины. Поступление воды по поверхности соседнего ледника Южный Иныльчек возможно с весьма ограниченной его площади, примыкающей к плотине (см. рис. 4), и существенно не влияет на наполнение озера. В принципе целесообразно оценить потенциально возможное увеличение объема прорывной волны на пути от концевой части ледника Иныльчек до гидропоста «Устье» (см. рис. 1) за счет боковых притоков реки и поступления поверхностного и грунтового стока со склонов бассейна. Скорее всего, суммарный вклад этих источников окажется незначительным, поскольку, судя по гидрографам стока на гидропосту «Устье», продолжительность прорыва

составляет всего 8–10 дней. Таким образом, предлагаемая автором оценка составляющих притока в озеро Мерцбахера по уравнению

$$V_{ML} = W_{gl} + V_{snow} \quad (39)$$

(где V_{snow} — объем таяния снега на внеледниковой части бассейна озера Мерцбахера) является вполне обоснованной. Для определения объема V_{snow} , учитывая, что независимая оценка составляющих этого уравнения W_{gl} и V_{ML} выполняется с помощью модели ледникового стока и по формуле (5), используем выражение (39) в следующем виде:

$$V_{snow} = V_{ML} - W_{gl}. \quad (40)$$

Результаты расчета V_{ML} , W_{gl} и V_{snow} за 1952–1985 годы представлены в табл. 3, а рис. 9 иллюстрирует временное изменение этих объемов в 1952–1985 годах. Суммарный за июнь–август сток с различных поверхностей в области оледенения рассчитан с учетом ежегодных колебаний Z_{MAX} в каждой из 45 групп ледников. В соответствии с уравнениями (10, 11) в этом стоке выделены объемы таяния льда под мореной, открытого льда и летнего снега. Объем таяния снега в июне–августе на внеледниковой части бассейна озера Мерцбахера определен по уравнению (40). В качестве входных данных при экстраполяции летних осадков в область оледенения по формулам типа (21) использованы наблюдения на метеостанции «Койлю», которая была закрыта после 1987 года. Этим фактом обусловлена длина интервала времени в табл. 3 и на рис. 9. В дальнейшем планируется поиск другого источника информации по температуре воздуха и осадкам — в таких глобальных и региональных базах данных, как CRU, GPCC, UDel, APHRODITE.

В итоге расчета составляющих притока воды в озеро Мерцбахера установлено:

1) вклад таяния сезонного снега во внеледниковой части бассейна несколько превышает поступление воды с площади оледенения, несмотря на то что ее современный размер составляет 57,7% от площади бассейна выше плотины;

2) в среднем за 1952–1985 годы объемы таяния многолетних запасов льда и фирна и таяния летнего снега на площади оледенения оказались почти одинаковыми, хотя их соотношение (см. табл. 3, рис. 9) подвержено значительным колебаниям;

3) временной тренд объема V_{ML} в течение 1930–1997 годов показывает возрастание накопления и сброса воды из оз. Мерцбахера, что согласуется с убывающим трендом суммы осадков за июнь–сентябрь и ростом средней

летней температуры воздуха на метеостанции «Тянь-Шань».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате решения поставленных задач получена следующая новая информация.

Обновлены высотно-площадные параметры оледенения в бассейне озера Мерцбахера по состоянию на 2002 год. Впервые рассчитано изменение объема озера в течение 1930–2005 годов.

Разработана методика определения составляющих притока воды в оз. Мерцбахера, которая включает следующие блоки: модель наполнения озера, экстраполяция температуры воздуха и осадков, интенсивность таяния ледников, средняя толщина моренного покрова и ее пространственное распределение, расчет испарения. В результате расчетов для 1952–1985 годов установлено, что в среднем 47,9% объема озера формируется за счет таяния на ледниках, а остальная вода (52,1%) поступает из внеледниковой части бассейна. Минимальное и максимальное значения этих источников притока воды в озеро составляют соответственно 17,8; 84,6 и 14,8; 82,2%.

2. Исследование, расчеты и прогноз элементов многолетнего режима оз. Мерцбахера и других прорывоопасных озер представляет значительный научный и практический интерес по многим причинам. Перечислим некоторые из них.

Не выяснены причины и механизм прорыва озера при значениях его объема, различающихся между собой в 2,6 раза (см. табл. 1), и колебаниях даты начала прорыва с середины мая до середины октября [24]. По этому поводу высказывались различные качественные гипотезы, однако количественное их подтверждение пока не получено.

Нерешенной остается практически важная задача прогноза даты начала прорыва, хотя уже были получены обнадеживающие результаты [12], основанные на стандартных наблюдениях на метеостанции «Койлю». К сожалению, эта станция давно закрыта, а другие аналогичные пункты наблюдений в бассейне реки Сарыджас отсутствуют.

Не изучены возможности наблюдения за наполнением озера с помощью спутникового и наземного мониторинга. Определенные перспективы в этом направлении открываются в результате совместных гляциологических и геофизических работ специалистов из Австрии, Германии и Киргизии в бассейне ледника Иныльчек [24].

Влияние катастрофических прорывов воды из озера Мерцбахера на гидрографы стока рек Иныльчек, Сарыджас и Аксу необходимо учитывать при освоении природных и гидроэнергетических ресурсов этих бассейнов, по-

сколькx распространение прорывной волны зарегистрировано [33] на расстоянии 150 км от места ее образования.

3. Известно [4, 5], что причиной прорыва гляциогенных озер может быть разрушение плотины вследствие экстремального притока талой воды, а также попадания в озеро лавинных, се-

левых и оползневых масс. Следовательно, наличие озер может как служить основным фактором образования прорывной волны и (или) селя, так и многократно усиливать селевой процесс, разрушивший озерную плотину. В том и в другом случае задачей системы защиты населенных пунктов и со-

циальной инфраструктуры является оценка объема прорывной волны при разрушении плотины одного или нескольких вышерасположенных гляциогенных озер (эти сведения для оз. Мерцбахера получены путем применения изложенных выше методов и приведены в табл. 1, 3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авсюк Г.А. Ледник Иныльчек // Победенные вершины: Ежегодник советского альпинизма. М., 1952. С. 27–90.
2. Айрапетьянц С.Э., Баков Е.К. Морфология ледникового озера Мерцбахера и механизм его катастрофических прорывов // Некоторые закономерности оледенения Тянь-Шаня. Фрунзе, 1971. С. 75–84.
3. Боровикова Л.Н., Денисов Ю.М., Трофимова Е.Б., Шенцис И.Д. Математическое моделирование процесса стока горных рек // Труды САНИГМИ. 1972. Вып. 61 (76). С. 150.
4. Виноградов Ю.Б. Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 155 с.
5. Виноградов Ю.Б. Этюды о селевых потоках. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 144 с.
6. Глазырин Г.Е., Казан А.Г. Расчет гидрологических характеристик прорыва озера Мерцбахера // Труды САНИГМИ Госкомгидромета. 1986. Вып. 111 (192). С. 36–43.
7. Глазырин Г.Е., Соколов Л.Н. Возможность прогноза характеристик паводков, вызываемых прорывами ледниковых озер // Материалы гляциологических исследований. М., 1976. Вып. 26. С. 78–85.
8. Голубев Г.Н. Гидрология ледников. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 248 с.
9. Диких А.Н., Кузьмиченко В.А. Озеро Мерцбахера // Вестник КРСУ. Бишкек, 2003. № 2. С. 1–7.
10. Каталог ледников СССР. Т. 14. Вып. 2. Ч. 9. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 64 с.
11. Коновалов В.Г. Каталогизация горных ледников и генерализация их распределения по материалам дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М.: Изд-во ИКИ РАН, 2010. Т. 7. № 2. С. 43–54.
12. Коновалов В.Г. Метод расчета и прогноза элементов режима прорывоопасного озера Мерцбахера // Материалы гляциологических исследований. М., 1990. Вып. 69. С. 141–147.
13. Коновалов В.Г. Оледенение Северной и Центральной Евразии в современную эпоху. Т. 1. Гл. 5. Изменения климата и формирование стока с ледников. М.: Наука, 2006. 488 с.
14. Коновалов В.Г. Пространственная экстраполяция и изменчивость характеристик климата на территории Центральной Азии // Известия РАН. Сер. Географ. 2003. № 5. С. 97–106.
15. Коновалов В.Г. Таяние и сток с ледников в бассейнах рек Средней Азии. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 238 с.
16. Коновалов В.Г., Прохоренко С.И. Гидрологический режим оледенения в бассейне р. Сарыджаз // Труды САНИГМИ. 1991. Вып. 140 (221). С. 126–137.
17. Кузьмиченко В.А. К вопросу об обработке материалов топографических съемок дна гляциальных озер // Гляциологические исследования в Центральном Тянь-Шане. Фрунзе, 1984. С. 130–137.
18. Рацек В.И. Оледенение массива пика Победы // Географический сборник. Вып. 4: Гляциология. 1954. С. 59–81.
19. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 14. Вып. 2. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 347 с.
20. Романенко В.А. Расчет влажности почвы на основе универсальных зависимостей для больших территорий // Труды Украинского НИИ гидрометеорологии. Киев, 1961. Вып. 3. С. 25–32.
21. Справочник по климату СССР. Вып. 32. Ч. 4. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 290 с.
22. Bodo B.A. Monthly discharges for 2400 rivers and streams of the former Soviet Union (FSU). V. 1.0. Toronto, Canada, 2000.
23. Dyurgerov M.B. Glacier mass balance and regime: data of measurements and analysis. Occasional paper № 55. INSTAAR, University of Colorado, 2002. URL: http://instaar.colorado.edu/other/occ_papers.html.
24. Glazirin G.E. A century of investigations on outbursts of the ice-dammed lake Metzbacher (Central Tien Shan) // Austrian Journal of Earth Sciences, 2010. V. 103. № 2. P. 171–179.
25. Iturrizaga L. Glacier lake outburst floods. Göttingen, Germany: Institute of Geography, University of Göttingen, 2010. 41 p.
26. Ives J.D., Shrestha R.B., Mool P.K. Formation of glacial lakes in the Hindu Kush-Himalayas and GLOF risk assessment. International Centre for Integrated Mountain Development, Kathmandu ICIMOD, 2010. 57 p.
27. Konovalov V.G. Computations of melting under moraine as a part of regional modeling of glacier runoff // Proceedings of a workshop «Debris-Covered Glaciers», Seattle, Washington, USA, September 2000. IAHS Publication № 264, 2000. P. 109–118.
28. Konovalov V.G. Methods for computations of onset date and daily hydrograph of the outburst from Merzbacher Lake, Inylchek Glacier Tien-Shan // Proceedings of the International Conference «Hydrology in Mountain Regions». Lausanne, Switzerland, 27.08.1990–01.09.1990. IAHS Publication № 193, 1990. P. 181–188.
29. Mool P.K., Bajracharya S.R. Tista Basin, Sikkim Himalaya inventory of glaciers and glacial lakes and the identification of potential glacial lake outburst floods (GLOFs) affected by global warming in the mountains of Himalayan Region. Kathmandu, Nepal: ICIMOD, 2003. 145 p.
30. Mool P.K., Bajracharya S.R., Joshi S.P., Shakya K., Baidya A. Inventory of glaciers and glacial lakes, glaciers outburst floods monitoring and early warning system in the Hindukush-Himalayan Region Nepal. Kathmandu, Nepal: ICIMOD, 2001. 280 p.
31. Mool P.K., Bajracharya S.R., Kunzang K., Gurung D.R., Joshi S.P., Shakya K. Inventory of glaciers and glacial lakes, glaciers outburst floods monitoring and early warning system in the Hindukush-Himalayan Region Bhutan. Kathmandu, Nepal: ICIMOD, 2001. 210 p.
32. Mool P.K., Bajracharya S.R., Roohi R., Ashraf A., Hussain S.A. Upper Indus, Jhelum, Shingo, Shyok, and Shigar River basins Pakistan Himalaya inventory of glaciers and glacial lakes and the identification of potential glacial lake outburst floods (GLOFs) affected by global warming in the mountains of Himalayan Region. Kathmandu, Nepal: ICIMOD, 2004. 354 p.
33. Ng F., Liu S., Mavlyudov B., Wang Y. Climatic control on the peak discharge of glacier outburst floods // Geophysical Research Letters. 2007. V. 34. L21503. doi:10.1029/2007GL031426.
34. Petrakov D.A., Krylenko I.V., Chernomorets S.S., Tutubalina O.V., Krylenko I.N., Shakhmina M.S. Debris flow hazard of glacial lakes in the Central Caucasus / Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment. Netherlands: Millpress, 2007. ISBN 978 90 5966 059 5.
35. Williams M.W., Konovalov V.G. Central Asia temperature and precipitation data, 1879–2003. Boulder, Colorado: USA National Snow and Ice Data Center, 2008. URL: http://nsidc.org/data/docs/noaa/g02174_central_asia_data/index.html.
36. Xu C.-Y., Singh V.P. Dependence of evaporation on meteorological variables at different time-scales and intercomparison of estimation methods // Hydrological Processes. 1998. V. 12. P. 429–442.

СЕЛЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ В БАССЕЙНЕ РЕКИ МЗЫМТА (ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ)

MUDFLOW PROCESSES IN THE MZYMTA RIVER BASIN (THE WESTERN CAUCASUS)

ВОЛОСУХИН В.А.

Ректор Академии безопасности гидротехнических сооружений,
г. Новочеркасск, volosukhin@yandex.ru

ТИТОРЕНКО А.И.

Аспирант кафедры гидротехнического строительства строительного факультета
Новочеркасской государственной мелиоративной академии,
г. Новочеркасск, titorenco61ru@mail.ru

VOLOSUHIN V.A.

The rector of the Academy of Safety of Hydraulic Engineering Structures,
Novocherkassk, volosukhin@yandex.ru

TITORENKO A.I.

A postgraduate student of the chair of hydraulic technical construction of the faculty
of civil engineering of the Novocherkassk State Land Reclamation Academy,
Novocherkassk, titorenco61ru@mail.ru

Ключевые слова: бассейн реки Мзымта; селевой поток; горные реки; водосбор; эрозия; бассейн реки.

Аннотация: в статье рассматривается ситуация, сложившаяся в отношении селевых процессов в бассейне реки Мзымта (Западный Кавказ), где разными авторами отмечается более 100 селевых русел. Изучение этой проблемы здесь является особенно актуальным из-за активного строительства олимпийских объектов в районе Сочи.

Key words: Mzymta river basin; mudflow; mountain rivers; catchment area; erosion; river basin.

Abstract: the article overviews the current situation concerning mudflow processes in the Mzymta river basin (the Western Caucasus) where various authors note more than 100 mudflow watercourses. This problem is especially topical there because of active construction of the Olympic objects in the Sochi region.

Введение

Горные реки южного склона Кавказского хребта в пределах Краснодарского края к настоящему времени изучены недостаточно [1, 6]. По имеющимся данным в Черное море здесь впадают 252 реки. Более 95% из них являются самыми малыми (длиной менее 10 км), а малых рек длиной от 26 до 100 км сравнительно немного (менее 5%). Площадь водосборов на территории края градируется в следующих интервалах: менее 25 км², от 25 до 50 км², от 50 до 100 км², от 100 до 400 км² [3].

Вследствие специфики рельефа и обилия осадков гидрографическая сеть на Черноморском побережье Краснодарского края развита значительно. Реки здесь относятся к четырем селеопасным районам — Новороссийскому, Геленджикскому, Туапсинскому и Большого Сочи.

Данная статья посвящена рассмотрению современной ситуации в отношении селевых процессов в бассейне реки Мзымта, относящемся к району Большого Сочи, где разными авторами отмечается более 100 селевых русел. Этот вопрос является особенно актуальным из-за активного строительства олимпийских объектов в районе Сочи.

Река Мзымта

Река Мзымта берет начало на южном склоне Главного Кавказского хребта в районе горы Люоб на высоте 2980 м [5], имеет длину 89 км (относится к малым рекам), площадь водо-

сбора 885 км², средний уклон 27‰, среднюю высоту водосбора 1309 м. На водосборе имеется 53 озера общей площадью 0,68 км², коэффициент озерности равен 0,08%. Густота речной сети составляет 1,16 км/км².

Режим стока р. Мзымта изменяется от 150 м³/с (в июне, декабре) до 15 м³/с (в феврале, августе). В месте расположения метеопоста в поселке Красная Поляна наибольший расход составил 301 м³/с (26 июня 1956 г.), наименьший — 5,48 м³/с (7 февраля 1950 г.).

Запас воды в снеге, который формирует поверхностный сток, в Красной Поляне колеблется от 42 до 426 мм, а в Ачишко — от 1626 до 2610 мм. Распределение стока взвешенных наносов по временам года для р. Мзымта на территории пос. Красная Поляна таково: 15,6% зимой, 44,5% весной, 26,7% летом, 13,2% осенью. Количество взвешенных наносов на реке составляет около 50%.

Мзымта относится к рекам с весенне-летним половодьем. По увлажнению рассматриваемый район относится к избыточному, коэффициент увлажнения изменяется от 1,35 до 5,0 [2]. Источники питания реки в районе Красной Поляны (площадь водосбора 510 км²): снеговое — 39,1%, ледниковое — 0,1%, дождевое — 31,0%, подземное — 29,8%. В районе поселка Кепш (площадь водосбора 798 км²): снеговое — 30,4%, ледниковое — 0,1%, дождевое — 42,2%, подземное — 27,3%.

Среднегогодовой расход и сток р. Мзымта в Красной Поляне — 33,5 м³/с и 1,06 км³, в Кепше — 44,4 м³/с

и 1,40 км³ соответственно. Модуль стока изменяется от 65,7 л/(с·км²) в Красной Поляне до 55,6 л/(с·км²) в Кепше.

Районирование бассейна р. Мзымта по селевой активности

В бассейне реки Мзымта разными авторами отмечается более 100 селевых русел. По генезису сходящие по ним сели делятся примерно пополам на дождевые и смешанные (снегодождевые). Объемы единовременных выносов твердой составляющей составляют 100–100 000 м³, по ее составу сели на рассматриваемой территории делятся на: грязекаменные (48%); смешанные, переходящие в наносоводные (30%); наносоводные (22%). Повторяемость прохождения селей колеблется в широком диапазоне — от 1 раза в 5 лет до 1 раза в 50 лет.

Общая длина селевых русел в бассейне р. Мзымта составляет 244 км. Из них самым длинным является русло реки Лаура (20 км), самым коротким — безымянное русло длиной 0,6 км. Средняя длина селевых русел составляет 5 км. Средняя площадь водосборов селевых бассейнов — около 10 км², максимальная — 140 км² (Чвижепсе), минимальная — 0,2 км² [4].

Авторами произведен подробный анализ селевой активности в бассейне р. Мзымта. В ходе многочисленных командировок в район строительства спортивных олимпийских объектов в рамках подготовки города Сочи к Олимпийским играм 2014 года были проведены исследования основных селевых русел и бассейнов, по результатам которых составлена карта рассматриваемого бассейна (рис. 1) с районированием селеопасных зон, а также территорий, в которых селевая активность не наблюдается или развита незначительно.

Бассейн реки был разбит на 14 районов — девять селеопасных и пять с незначительными проявлениями или отсутствием селевой активности.

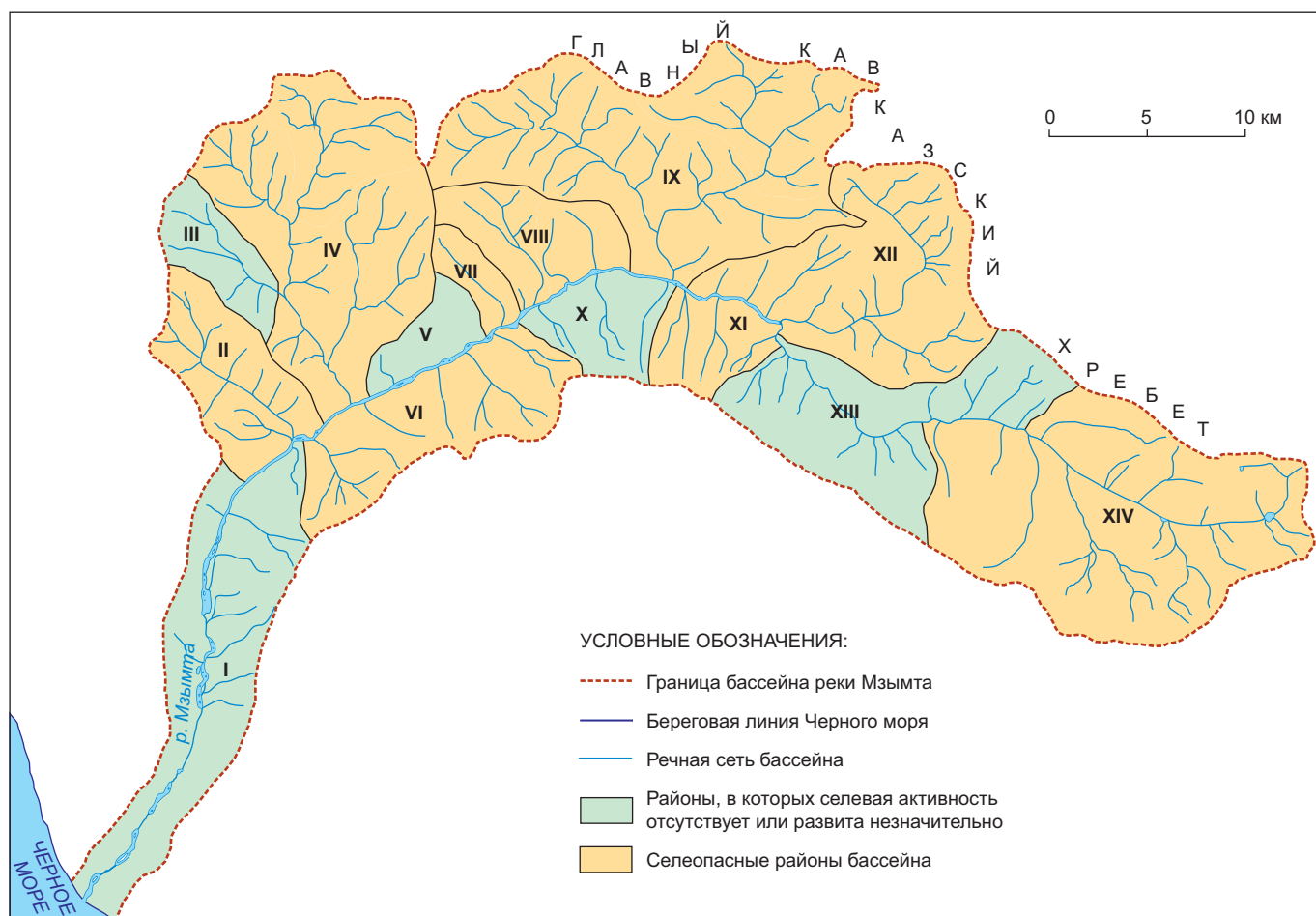


Рис. 1. Карта районирования бассейна р. Мзымта по селевой активности по состоянию на 2012 г.

Районы с незначительными проявлениями или отсутствием селевой активности

Район под номером **I** площадью 91,2 км² простирается на 26 км вдоль р. Мзымта от поселка Красная Скала до побережья Черного моря и имеет высокую степень освоенности и заселенности. Водотоки в его пределах характеризуются низкой энергией потоков, а также малыми уклонами тальвегов и склонов.

Бассейн реки Берючка (**III** район) находится между двумя горными хребтами и берет начало в горах Алитиповского хребта на высоте 1120 м. Р. Берючка впадает в р. Чвижепсе (с правого берега) на высоте 331 м, ее длина составляет 7,8 км, средний уклон — 101‰, площадь водосбора — 20,3 км². Склоны реки являются густо залесенными (на них произрастают в основном бук, пихта, каштан, граб). В притоках наблюдается линейная эрозия склонов.

В район под номером (**V**) общей площадью 15,0 км² входят ручей Девичьи Слезы и 5 безымянных ручьев. Средняя протяженность ручьев составляет 2,0 км. Склоны являются пологими и густо залесенными. Перепад высотных отметок — до 300 м, селевой активности не наблюдается.

В левобережный район под номером **X** общей площадью 23,9 км² входят 3 русла длиной от 3,4 до 5,5 км, впадающие в р. Мзымта (с левого берега) на отметках от 413 до 505 м. Наивысшая точка — 1523 м. Склоны покрыты лесом, преимущественно пихтой и буком.

Район под номером **XIII** простирается на правобережной и левобережной частях бассейна р. Мзымта и имеет общую площадь 71,2 км². Левобережные притоки берут начало в районе хребта Аибга на высоте от 1760 до 2010 м, а истоки правобереж-



Рис. 2. Река Кепша (устье)



Рис. 3. Река Чвижепсе

ных русел находятся на склонах хребта Аишхо на высоте 1500–2400 м.

Районы с высоким уровнем селевой активности

В район под номером **II** площадью 41,1 км² входят 2 селеопасных бассейна — реки Кепша (рис. 2) и Ахцу.

Исток р. Кепша находится на склоне хребта Ахцу на высоте 1150 м. Длина реки составляет 10,7 км, перепад высот между истоком и устьем — 650 м, средний уклон русла — 67%, средний уклон водосбора — 352%, залесенность бассейна — 96%, максимальный расход $Q_{1\%} = 158,3 \text{ м}^3/\text{с}$.

В бассейне р. Кепша обнаружены три зоны формирования селей. Две из них находятся в верхнем течении и одна — в устье. Развитие селевого очага, расположенного в устье реки (на окраине поселка Кепша), спровоцировано строительством высоковольтной линии электропередачи. В перспективе селевая опасность может исходить и от ущелья Ахцу, в котором наблюдается зауженный участок, образующий узкую горловину. Это может стать причиной образования крупного озера, при прорыве которого произойдет сход селевого потока.

Река Ахцу берет свое начало на высоте 780 м, впадает в р. Мзымта на высоте 259 м, длина ее русла составляет

4,1 км, средний уклон равен 127%. Селевая активность наблюдается в ее верхнем течении, где происходит линейная эрозия склонов.

Для района **II** характерны селевые потоки дождевого и снежодождевого генезиса, угрожающие поселку Кепша, а также автодороге и мосту через одноименную реку.

Основными селеопасными бассейнами района под номером **IV** площадью 118,1 км² являются реки Чвижепсе и Медовеевка.

Длина р. Чвижепсе (рис. 3) составляет 22 км, площадь ее водосбора — 140 км², средний уклон водосбора — 374%, средняя высота водосбора — 975 м, средний уклон русла в устье — 53%, лесистость склонов — 87%. Исток реки находится на склоне хребта Ачишхо на высоте 1880 м, ее бассейн представляет собой разветвленную речную сеть (более крупные притоки — реки Черная, Гузийка и др.), образующую уникальные формы рельефа.

Река Медовеевка является левобережным притоком р. Чвижепсе и впадает в последнюю на расстоянии 2,5 км от ее устья. Медовеевка берет начало на склоне хребта Ачишхо на высоте 1865 м. Ее длина составляет 10,9 км, площадь водосбора — 36,5 км² (имеет вытянутую форму), средний уклон русла — 116%, средняя высота водосбора — 870 м,

средний уклон водосбора — 336%, лесистость бассейна — 92%, максимальные расходы — $Q_{1\%} = 165,8 \text{ м}^3/\text{с}$, $Q_{10\%} = 123,5 \text{ м}^3/\text{с}$.

Можно выделить следующие очаги формирования селевых потоков в районе **IV**. В верхних притоках реки Черная на высоте 900–1100 м имеется два очага формирования селевых потоков с повторяемостью 1 раз в 50–100 лет. Селеформирование происходит в двух левобережных притоках р. Чвижепсе, впадающих в нее на расстоянии от 4 до 5 км от устья. Селевым является бассейн реки Краснополянка площадью 12 км², зона селеформирования в пределах которого находится на высоте 690–780 м, а зона отложения твердой составляющей достигает русла р. Медовеевка. Три селевых очага наблюдается также в верхних притоках р. Медовеевка на высоте от 1500 до 1950 м.

Последний зарегистрированный селевой поток в районе **IV** произошел в 2009 году (конус выноса достиг долины р. Чвижепсе). Существует большая вероятность формирования селей наносоводного типа, угрожающих поселку Чвижепсе, автодороге и мостам через реки Чвижепсе и Медовеевка.

Площадь района **VI** составляет 58,6 км², длина русел колеблется от 3,4 до 7,8 км. Средние уклоны русел составляют 150–300%. В рассматриваемом



Рис. 4. Место впадения р. Ачипсе в р. Мзымта

мом районе расположены следующие левобережные притоки р. Мзымта:

- река Кепша (длина селевого русла — 7,8 км, площадь бассейна — 16,0 км²), в бассейне которой возможно образование грязекаменных и наносоводных селевых потоков и выделяются три зоны формирования селей (два очага — в бассейнах верхних притоков и один — в бассейне правобережного притока), а зона отложений селевых масс достигает русла р. Мзымта;
- река Пихтинка (длина селевого русла — 3,7 км, площадь бассейна — 5,8 км²), где возможно образование наносоводных селевых потоков и имеется один селевой очаг (в верхнем течении);
- река Галион 3-й (длина селевого русла — 3,7 км, площадь бассейна — 6,3 км²), в бассейне которой возможно образование грязекаменных и наносоводных селевых потоков и наблюдается один селевой очаг (в районе истока);
- река Галион 2-й (длина селевого русла — 7,1 км, площадь бассейна — 13,0 км²), где возможно образование наносоводных селевых потоков и имеются две зоны формирования селей (в бассейнах притоков верхнего течения);
- река Галион 1-й (длина селевого русла — 6,4 км, площадь бассейна —

7,8 км²), где возможно образование наносоводных селевых потоков и существует три селевых очага (два — в верхних притоках и один — в нижне-левобережном притоке).

Перечисленные реки района VI являются типичными горными потоками, обладающими нерегулярным режимом стока и большой энергией потока, обусловленной большими уклонами русла и склонов, высокими динамическими характеристиками.

В район VII входит бассейн реки Монашка, которая является правобережным притоком р. Мзымта, берет начало на южной части хребта Ачишхо на высоте 1350 м. Длина ее русла равна 5,8 км, площадь бассейна — 10,2 км², средняя высота водосбора — 1050 м, средний уклон русла — 206‰, средний уклон водосбора — 361‰, залесенность бассейна — 87% (в основном произрастают бук и каштан), максимальный расход $Q_{1\%}=77,2 \text{ м}^3/\text{с}$. Район характеризуется большой вероятностью прохождения грязекаменных и наносоводных селевых потоков, в его пределах наблюдаются следы бурной эрозионной деятельности в русле и притоках р. Монашка, обнаружен один очаг формирования селевых потоков (в районе истока р. Монашка на высоте 1100–1400 м).

Район VIII площадью 32,4 км² охватывает бассейн реки Бешенка в районе

поселка Красная Поляна. Он характеризуется сильно расчлененным рельефом — здесь отмечаются резкие перепады высотных отметок (до 900 м), преобладают отвесные и крутые склоны. Данная река является левобережным притоком р. Мзымта и впадает в последнюю в 42 км от ее устья. Исток р. Бешенка находится на отметке 1650 м на южном склоне хребта Ачишхо. Площадь ее бассейна составляет 17,3 км², длина русла — 7,6 км, средняя высота водосбора — 1135 м, средний уклон русла — 162‰, средний уклон водосбора — 493‰, залесенность — 81% (произрастают в основном каштан, дуб, бук), максимальные расходы — $Q_{1\%}=95,7 \text{ м}^3/\text{с}$, $Q_{10\%}=57,4 \text{ м}^3/\text{с}$.

В бассейне р. Бешенка обнаружено четыре селевых очага (один — в районе истока реки и три — в верховьях ее левобережных притоков). Здесь существует вероятность образования грязекаменных и наносоводных селевых потоков. Повторяемость селей — 1 раз в 25–50 лет. В зоне опасности находятся поселок Красная Поляна, автодорога Адлер — Красная Поляна, туристические базы.

Границы района IX площадью 145,7 км² совпадают с границами бассейна р. Ачипсе. Эта река берет начало на южных склонах Главного Кавказского хребта на высоте 2290 м и на северных склонах хребта Ачишхо на вы-

соте 1935 м. Она является правобережным притоком р. Мзымта, впадая в последнюю в районе поселка Эсто-Садок (рис. 4). Длина р. Ачипсе составляет 17,0 км, средний уклон русла равен 89‰, лесистость — 97% (в основном произрастают пихта, бук). Длина селевых русел данного бассейна составляет от 3 до 22,5 км. Левобережными притоками являются реки Ассара (длина — 3,6 км, площадь водосбора — 5,9 км²), Рудовая (длина — 6,1 км, площадь водосбора — 7,2 км²), наиболее мощный приток — р. Лаура.

Река Лаура является левобережным притоком р. Ачипсе, впадает на расстоянии 3 км от устья последней, берет начало на южных склонах хребтов Ассара и Дзитаку на высоте 2410 м, площадь водосбора составляет 60,3 км². Левобережным притоком р. Лаура является р. Бзерпия.

Исток реки Бзерпия находится на хребте левое Псеашхо в урочище Медвежьи Ворота на высоте 2140 м. Она впадает в р. Лаура на расстоянии 4,1 км от устья на высоте 658 м. Длина реки составляет 7,2 км, средний уклон водотока — 196‰, площадь бассейна — 12,4 км², средняя высота водосбора — 1250 м, средний уклон водосбора — 350‰, лесистость — 98% (в основном произрастают бук и пихта), максимальные расходы — $Q_{1\%}=70,9$ м³/с, $Q_{10\%}=42,5$ м³/с.

В районе IX можно выделить пять селеопасных участков:

- бассейн реки Бзерпия, в котором наблюдается четыре зоны формирования селей (три — в левобережных притоках и одна — в правобережном), а зона отложения селевого материала достигает русла р. Лаура;
- бассейн реки Ассара, в верхних притоках которой находятся два селевых очага и существует вероятность формирования грязекаменных и наносоводных селевых потоков, зона отложения достигает русла р. Ачипсе;
- бассейн реки Рудовая, где находится один селевой очаг (в верховьях реки) и возможно формирование грязекаменных селевых потоков, зона отложения селевого материала достигает русла р. Ачипсе;
- бассейн левобережного притока р. Ачипсе, впадающего на расстоянии 0,8 км от устья, с длиной русла 2,6 км, где наблюдается один очаг формирования селей, зона отложения селевой массы достигает р. Ачипсе;
- бассейн правобережного притока р. Лаура, впадающего на расстоянии 1,0 км ниже устья реки Бзерпия, с длиной русла 3,2 км, в верховьях которого наблюдается две зоны формирования селевых потоков, зона отложения селевого материала достигает русла р. Лаура.

В пределах района IX наблюдается угроза для восточной части поселка



Рис. 5. Пересечение автомобильной дорогой ручья Ржаной

Эсто-Садок, а также для автодороги и моста через р. Ачипсе.

Район XI площадью 21,6 км² включает в себя левобережную часть долины р. Мзымта с ее многочисленными притоками (такими как водотоки Ржаной, Сулимовский Ручей, Кольценко, Пограничный и др.). Русла в основном прямые, их длина составляет от 0,3 до 4,7 км, ширина — 0,4–2,2 м, средний уклон — 210–370‰, средняя глубина — 0,3–0,8 м. Водотоки данного района являются яркими представителями горных потоков, обладающих большой энергией и большими уклонами.

Ручей Ржаной (рис. 5), является левобережным притоком р. Мзымта и впадает в нее в 51 км от устья, его исток находится на склонах хребта Аибга на высоте 2020 м, длина водотока составляет 4,5 км, средний уклон русла — 300‰, площадь водосбора — 5,9 км², средний уклон водосбора — 407‰.

Река Сулимовский Ручей берет начало на склоне хребта Аибга на высоте 1990 м и впадает в р. Мзымта в 53 км от устья, ее длина равна 4,7 км, средний уклон русла — 290‰, площадь водосбора — 6,8 км², средняя высота водосбора — 1350 м, средний уклон водосбора — 515‰, максимальные расходы — $Q_{1\%}=54,9$ м³/с, $Q_{10\%}=32,6$ м³/с, средняя скорость паводкового расхода — 3,8 м/с.

В рассматриваемом районе целесообразно отметить 10 безымянных ручьев, впадающих с левого берега в р. Мзымта на расстоянии от 50 до 59 км от устья, с длиной русел от 0,5 до 3,4 км.

Селевая активность отмечается во всех руслах района XI. Серьезную опасность представляет Сулимовский Ручей: мощные селевые потоки происходили здесь в 1985, 1995 (достигли русла р. Мзымта), 2002, 2003 годах.

В 2007 году мощный селевой поток остановил движение по автодороге, идущей на плато Роза Хутор. На момент исследования обнаружены два крупных селевых очага в верховьях ручья. Максимальный объем единовременного выноса сходящих из них селей составил 15–20 тыс. м³. Вероятно формирование селей грязекаменного и наносоводного типов.

В бассейне реки Ржаная отмечен один очаг селеформирования, находящийся в верховьях ее левого притока.

Обилие малых ручьев существенно увеличивает селевую активность района XI. Можно отметить около 10 селевых русел, в которых формируются микросели. Зоны отложения селевого материала достигают русла р. Мзымта. Повторяемость этих микроселей — 1 раз в 5–10 лет.

Район XII общей площадью 86,1 км² включает в себя бассейн реки Пслух и ряд безымянных правобережных притоков р. Мзымта. Исток Пслуха находится на южном склоне Главного Кавказского хребта на высоте 1995 м. Длина реки составляет 17,0 км, средний уклон русла — 89‰, площадь водосбора — 66,2 км², средний уклон водосбора — 401‰, лесистость — 82% (произрастают в основном пихта, дуб, граб), максимальные расходы — $Q_{1\%}=211,3$ м³/с, $Q_{10\%}=126,0$ м³/с. Бассейн имеет крутые склоны (более 35°) и густую гидрографическую сеть. Можно отметить множество мелких притоков реки длиной от 0,5 до 2,9 км, в районе ее истока имеется современное оледенение.

Самым крупным левобережным притоком р. Пслух является река Пслушенок, впадающая на расстоянии 4,7 км от устья и берущая начало на южном склоне хребта Аишко на высоте 2355 м. Длина этой реки равна 7,2 км, средний уклон русла — 179‰,

площадь бассейна — 14,1 км², средний уклон водосбора — 459‰, лесистость — 98% (произрастают в основном пихта, бук), максимальные расходы — $Q_{1\%}=82,7$ м³/с, $Q_{10\%}=49,4$ м³/с, скорость течения на различных участках — от 1,5 до 4,5 м/с. Русло узкое, шириной от 2,0 до 4,5 м.

Малые водотоки, входящие в данный район, являются правобережными притоками р. Мзымта и обладают длиной от 0,6 до 5,3 км. Они впадают в р. Мзымта на расстоянии от 0,7 до 5,0 км ниже устья р. Пслух.

По итогам проведенных исследований в районе XII можно выделить 14 очагов формирования селевых потоков грязекаменного типа:

- в бассейне реки Пслушенок — один селевой очаг, находящийся в верховье нижнего левобережного притока, зона отложения селевой массы достигает русла р. Пслух;
- в бассейне реки Пслух — 11 селевых очагов, из них шесть — в верховьях левобережных притоков и пять — в верховьях правобережных притоков, зоны отложения селевых масс четырех очагов достигают русла р. Пслух, объем максимального единовременного выноса составляет 5–15 тыс. м³;
- в ручьях (правобережных притоках р. Мзымта) обнаружены две зоны формирования селей и микроселей с повторяемостью 1 раз в 5–10 лет.

Несмотря на высокую селевую активность, следует отметить низкую вероятность ущерба от селей в районе XII, что объясняется его малой освоенностью.

Район XIV общей площадью 149,6 км² включает в себя верховья р. Мзымта, а именно бассейны рек Сумасшедшая, Бешенка, Тихая Речка, Бзыч, Тихая, а также озеро Кардывач и ряд безымянных притоков. В районе насчитывается 12 селевых очагов, в которых формируются селевые потоки грязекаменного и наносоводного типов. Длина селевых русел составляет от 0,5 до 8,6 км.

Река Бешенка является правобережным притоком р. Мзымта и впадает в нее в 78 км от устья на высоте 1589 м. Она берет начало на южном склоне Главного Кавказского хребта на высоте 2300 м. Длина русла составляет 4,5 км, средний уклон — 158‰, площадь бассейна — 7,9 км². Здесь обнаружено два селевых очага в бассейнах верхних притоков, зона отложений селевых масс достигает русла р. Мзымта.

Река Сумасшедшая берет начало на южном склоне Главного Кавказского хребта на высоте 2625 м, является правобережным притоком р. Мзымта и впадает в нее в 71 км от устья. Длина реки равна 6,9 км, площадь бассейна — 10,1 км², средняя высота водосбора — 1950 м. Обнаружен один се-

левой очаг в верховье реки, объем максимального единовременного выноса составляет до 10 тыс. м³, зона отложения селевого материала достигает русла р. Мзымта.

Река Тихая Речка является левобережным притоком р. Мзымта и впадает в нее в 71 км от устья, берет начало на северном склоне хребта Ацетука. Длина реки составляет 8,6 км, площадь водосбора — 16,7 км². В истоках реки на склоне хребта Ацетука имеется современное оледенение. Обнаружен один селевой очаг, располагающийся в высокогорной зоне в районе истока Тихой Речки.

Река Тихая берет начало на северном склоне хребта Ацетука на высоте 2120 м, впадает с левого берега в р. Мзымта в 74 км от устья на высоте 1430 м. Длина реки равна 9,8 км, средний уклон — 71‰, площадь водосбора — 32,1 км². В бассейне р. Тихая происходит аккумуляция рыхлообломочного материала в четырех зонах (две из которых находятся в районе истоков реки и две — в верховьях левобережных притоков), зона отложения селевого материала достигает русла р. Мзымта.

Река Бзыч берет начало на северном склоне хребта Ацетука на высоте 2145 м и впадает с левого берега в р. Мзымта в 79 км от устья на высоте 1645 м. Длина реки составляет 5,9 км, средний уклон — 85‰, площадь бассейна — 17,5 км². В бассейне обнаружено три зоны формирования селевых потоков, находящиеся в истоках верхних притоков, зона отложения селевого материала достигает русла реки Бзыч, в котором возможно образование водоподпорной перегораживающей перемычки.

Процесс селеформирования происходит в двух безымянных водотоках длиной 1,9 и 2,2 км, впадающих с юга в озеро Кардывач (зона отложе-

ния для первого достигает озера, а для второго — левого берега р. Мзымта). Также следует отметить селевой очаг, располагающийся на высоте 2160–2280 м в районе истока безымянного левобережного притока р. Мзымта, впадающего в 83 км от устья.

Несмотря на то что в районе XIV вероятно прохождение селевых потоков, из-за труднодоступности высокогорных районов и низкого развития туристических маршрутов возможный ущерб здесь минимален.

Заключение

В бассейне реки Мзымта разными авторами отмечается более 100 селевых русел, где в последние годы происходит устойчивый рост селевой активности, во многом объясняющийся крупномасштабными строительными работами в рамках подготовки г. Большой Сочи к спортивным Олимпийским играм 2014 года.

В работе рассмотрены селеопасные водотоки в бассейне р. Мзымта. Проведенные авторами натурные исследования выявили необходимость разработки комплекса противоселевой защиты на данной территории.

В селевых руслах бассейна р. Мзымта наиболее эффективны комплексы противоселевой защиты, включающие стабилизирующие сооружения в верховьях водотоков, а также селезадерживающие и селепропускные гидротехнические сооружения в их среднем и нижнем течении.

Основываясь на исследованиях, представленных в статье, авторы считают, что необходимо реализовать предложенный комплекс противоселевой защиты бассейна р. Мзымта, позволяющий существенно снизить уровень селевой опасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов А.Ю. Селевые явления на территории СССР и меры борьбы с ними (указатель литературы, изданной в 1968–1991 гг.). Ч. 2. Пятигорск: Изд-во ОАО «Севкавгипроводхоз», 2008. 333 с.
2. Волосухин В.А. Инженерная защита территории олимпийских объектов от селевых потоков // Гидротехника. 2011. № 2 (22). С. 28–31.
3. Волосухин В.А., Титоренко А.И. Проблемы селевой активности на горных реках Черноморского побережья // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2011. № 4. С. 103–106.
4. Заруднев В.М., Салпагаров А.Д., Хома И.И. Лавинно-селевая опасность бассейнов рек Теберда, Большой Зеленчук, Мзымта и защита от снежных лавин и селей горнолыжных комплексов Домбай, Архыз, Красная Поляна // Труды ТГБЗ. Кисловодск: МИЛ, 2007. Вып. 46. С. 114–117.
5. Титоренко А.И. Противоселевые мероприятия и эффективность их применения в бассейнах Черноморского побережья // Вестник Донского государственного технического университета. 2011. Т. 11. № 6 (57). С. 850–856.
6. Хмелева Н.В., Виноградова Н.Н., Самойлова А.А. и др. Бассейн горной реки и экзогенные процессы в ее пределах (результаты стационарных исследований) / под ред. Р.С. Чалова. М.: Изд-во МГУ, 2000. 186 с.

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ И РИСКА ФОРМИРОВАНИЯ СЕЛЕЙ В СЕВЕРНЫХ ОБЛАСТЯХ АРМЕНИИ

ESTIMATION OF DANGERS AND RISKS OF FORMING MUD-FLOWS IN THE NORTHERN REGIONS OF ARMENIA

БОЙНАГРЯН В.Р.

Заведующий кафедрой геоморфологии и картографии факультета географии и геологии Ереванского государственного университета (ЕГУ), д.г.н., профессор, г. Ереван, vboynagryan@ysu.am

ГАГИНЯН Р.Х.

Доцент кафедры геоморфологии и картографии факультета географии и геологии ЕГУ, г. Ереван, rgaginyan@ysu.am

ДАВТЯН П.Г.

Доцент кафедры физической географии факультета географии и геологии ЕГУ, г. Ереван, к.г.н., pdavtyan@ysu.am

БОЙНАГРЯН А.В.

Ассистент кафедры геоморфологии и картографии факультета географии и геологии ЕГУ, г. Ереван, к.г.-м.н., boynagar@gmail.com

МАНУКЯН Н.В.

Ассистент кафедры геоморфологии и картографии факультета географии и геологии ЕГУ, г. Ереван, к.г.н., nmanukyan@ysu.am

BOYNAGRYAN V.R.

The head of the geomorphology and cartography department of the geology and geography faculty of Yerevan State University (YSU), doctor of science (Geography), professor, Yerevan, vboynagryan@ysu.am

GAGINYAN R.KH.

An associate professor of the geomorphology and cartography department of the geology and geography faculty of YSU, Yerevan, candidate of science (Geography), rgaginyan@ysu.am

DAVTYAN P.G.

An associate professor of the physical geography department of the geology and geography faculty of YSU, Yerevan, candidate of science (Geography), pdavtyan@ysu.am

BOYNAGRYAN A.V.

An assistant of the geomorphology and cartography department of the geology and geography faculty of YSU, Yerevan, candidate of science (Geology and Mineralogy), boynagar@gmail.com

MANUKYAN N.V.

An assistant of the geomorphology and cartography department of the geology and geography faculty of YSU, Yerevan, candidate of science (Geography), nmanukyan@ysu.am

Ключевые слова: северные области Армении; сель; паводок.

Аннотация: с целью оценки опасности и риска формирования селей в северных областях Армении изучены условия развития селевых процессов на их территории, составлены соответствующие карты. Предложены меры защиты антропогенных объектов от затоплений селями и паводками.

Key words: northern regions of Armenia; mudflow; high water.

Abstract: to assess dangers and risks of forming mudflows in the northern regions of Armenia the authors have investigated the conditions of mudflow processes development in the territory, constructed corresponding maps, proposed some measures to protect anthropogenic objects from flooding by mudflows and high waters.

Введение

В последние 15–20 лет в Армении, как и повсюду в мире, отмечается изменение климата: нарушены летние и зимние температуры воздуха, сроки наступления очередных сезонов года, количество и интенсивность осадков, частота экстремальных гидрометеорологических явлений и др.

В результате повысилась опасность возникновения природных катастроф экзогенного происхождения и их воздействия на населенные пункты и различные транспортные коммуникации по всей территории республики. Населенным пунктам и транспортным коммуникациям все чаще стали угрожать сели и паводки, активизировались многие оползни, отмечаются их катастрофические подвижки с перекрытием автомобильных дорог (таких как Одзун, Овк, Айрум и др.) или русел рек (например, реки Агарцин, что не раз приводило к образованию временного озера и затоплению прилегающих строений на 1,0–1,5 м).

Поэтому назрела необходимость исследования ситуации в областях Армении с целью оценки опасности и риска формирования селей и паводков. Для этого авторами статьи были проведены

исследования в северных областях республики (таких как Ширак, Арагацотн, Гегаркуник, Лори, Тавуш), что позволило оценить степень опасности и риска на их территориях как природных процессов, так и антропогенных факторов в отношении создания определенных условий, которые могут усилить отрицательный эффект природных явлений, доведя их до катастрофических масштабов. Этим вопросам и посвящена данная статья.

Характеристика исследованных областей

Рельеф северных областей Армении представлен складчато-глыбовыми хребтами (Ширакским, Базумским, Памбакским, Халабским, Иджеванским, Арегуни, южными склонами Севанского хребта, западными склонами Восточно-Севанского хребта, Вираа-йонц, Гугарац, Миапорским), а также Арагацким вулканическим массивом, восточными склонами Джавахетского и Гегамского и северными склонами Варденисского вулканических массивов и рядом межгорных котловин и плато.

Складчато-глыбовые хребты сложены различными вулканогенно-осадоч-

ными породами (порфиритами, андезито-дацитами, туфоконгломератами, туфобрекчиями, туфами, андезитовыми лавами, известняками, мергелями, доломитами, различными песчаниками), прорванными многочисленными интрузиями габбро-диоритов и габбро-порфиритов, гранодиоритов, гранитов.

Склоны вулканических массивов сложены базальтовыми, андезитовыми, андезито-базальтовыми и дацитовыми лавами, а также различными туфами, шлаками, вулканическими песками и пеплом.

Межгорные котловины и плато сложены лавами, туфами, озерно-речными и флювиогляциальными отложениями.

Рельеф складчато-глыбовых хребтов в основном сильно расчлененный, эрозионно-денудационный. Склоны хребтов в большинстве случаев весьма крутые (до отвесных), на них много обнаженных участков, на которых происходит интенсивное физическое выветривание горных пород с формированием рыхлообломочного склонового чехла, который при сильных ливнях легко удаляется со склонов, образуя твердую составляющую селей. Авторами неоднократно фиксировалась почти полная очистка обнаженных склонов в разных районах Армении от рыхлообломочного материала даже в течение лишь одного сильного ливня, когда обрушивающиеся на такие склоны за несколько минут огромные массы воды смывают не только мелкозем, но и более крупный материал, вплоть до средней и крупной щебенки, и экспонируют поверхность скальных пород [1, 2, 4].

Селеносными в основном являются склоны южной экспозиции, которые характеризуются скудной растительностью или ее полным отсутствием, значительной крутизной, многочисленными выходами на поверхность скальных пород и скоплений материала выветривания на склоне.

При выветривании глинистых и песчаных осадочных пород образуется большое количество щебенки, дресвы и глинистого материала, формирующих твердую составляющую селей. Поэтому в районах с распространением таких пород формируются грязевые и грязекаменные сели. В районах с преобладанием интрузивных и вулканических пород, а также известняков формируются водокаменные сели, так как перечисленные породы при выветривании дают очень мало глинистого материала.

Северные области Армении характеризуются значительным количеством осадков: 600–700 мм/год (а в привершинном поясе Арагаца — до 900–1000 мм/год). При этом весеннее снеготаяние происходит весьма бурно и нередко сопровождается сильными ливнями и резким повышением температуры воздуха вплоть до 10–15 °С за несколько часов, что, естественно, провоцирует образование селей и паводков.

Обычно сели и паводки формируются в конце весны и летом при сильных ливнях (особенно с градом).

Если сухой период года продолжительный (то есть имеется достаточно много времени для образования большого количества рыхлообломочного материала на склонах), то сели более мощные и наиболее бурные. Наиболее интенсивные сели образуются при большой крутизне склонов и дна русел водотоков даже в случае залесенных склонов, но при обильных осадках (например, сильный ливень 2 июня 1998 года в окрестностях гор Иджеван, когда за 50 минут выпало 53 мм осадков и когда дождь шел с нарастающей интенсивностью, сформировал мощный грязекаменный сель с высотой волны до 1,5 м с залесенного склона значительной крутизны) [3].

Результаты исследований

Для оценки опасности и риска формирования селей и паводков в северных областях Армении авторами составлены карты поверхностных грунтов с их коэффициентом фильтрации, залесенности склонов и их крутизны, современных экзогенных процессов и их активности, горизонтального и вертикального расчленения территорий областей, количества и интенсивности выпадения дождей, селеносности и селеопасности водотоков и др.; обследовано состояние водоулавливающих и водоотводящих сооружений и природ-

ных водотоков; выполнена детальная фотосъемка и картирование участков, на которых могут образоваться запруды, и др.

Проведенные исследования показали, что в северных областях Армении много крутых и выпуклых склонов, на которых интенсивность эрозии и частота формирования селей возрастают в 1,5 раза. Сели и паводки чаще всего возникают там, где значительны горизонтальное (более 1 км/км²) и вертикальное (более 300 м) расчленение территории, а также на склонах южной экспозиции в сухом степном и горно-степном поясах, расположенных на высотах 1200–2000 м, где сильный поверхностный сток может образоваться даже при дожде интенсивностью 2–3 мм/мин. «Благоприятными» для формирования селей и паводков являются ливни с возрастающей интенсивностью или если пик интенсивности осадков приходится на середину периода прохождения ливня.

На участках вулканических массивов наиболее селеактивными являются западные и юго-западные склоны массива Арагац (в бассейне реки Мастара). Менее активны сели, формирующиеся на восточных склонах Гегамского массива (в бассейне реки Гаварагет и на всей территории к востоку и юго-востоку от него вплоть до бассейна реки Цаккар) и на северных склонах Вар-

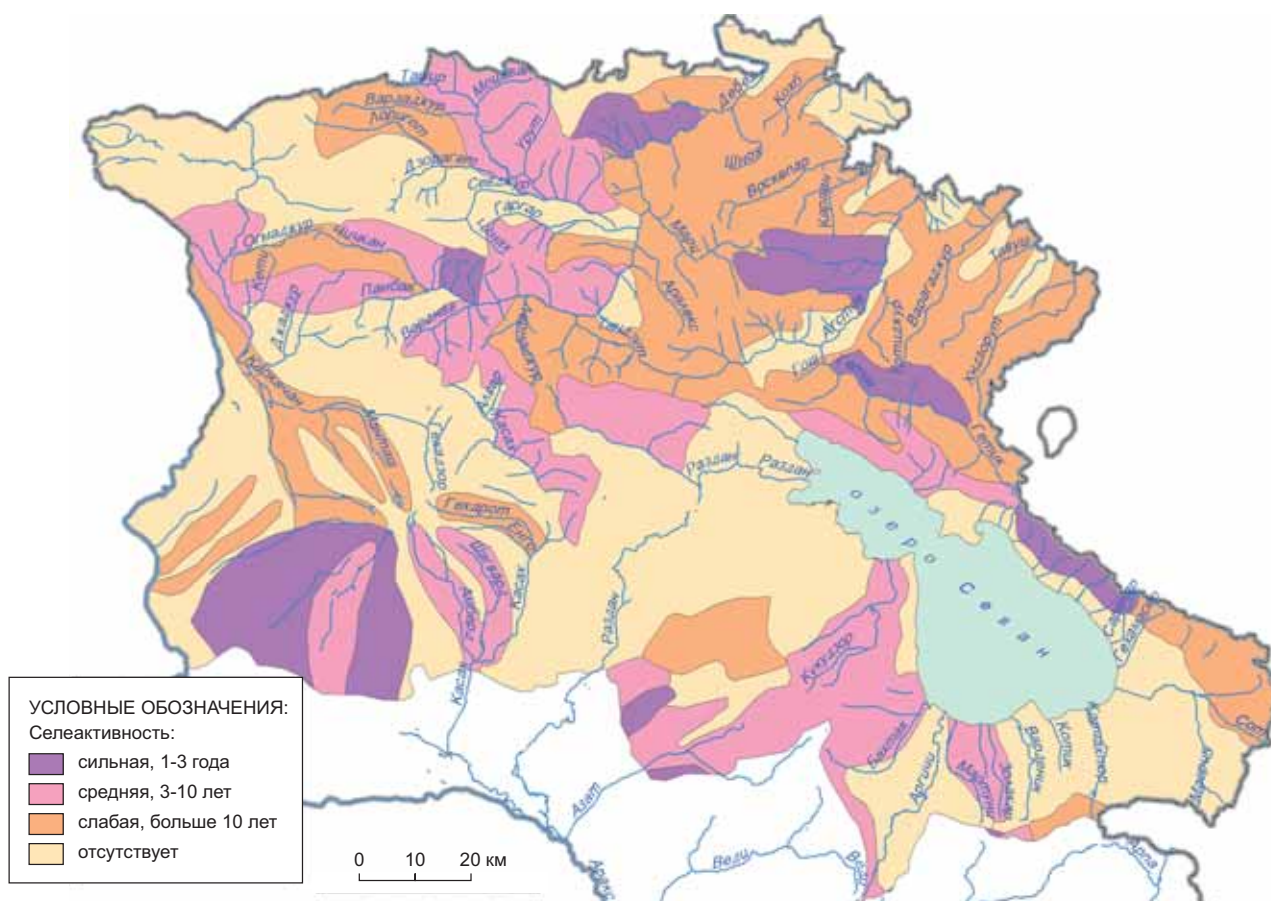


Рис. 1. Расположение наиболее селеактивных участков в северных областях Армении. В условных обозначениях после названий групп указана средняя длительность промежутков между селями



Рис. 2. Состояние русел ряда водотоков и бетонных водоотводящих сооружений в северных областях Армении (фото В. Бойнагряна)

денисского массива (в бассейне реки Мартуни) (рис. 1).

На участках северных складчатоглыбовых хребтов наиболее селеактивны:

- южные склоны Базумского хребта на участке между селами Башгюх на западе и Бзовдал на востоке;
- южные склоны Халабского хребта (продолжения Базумского хребта на востоке) и северные склоны Памбакского хребта на участке между селами Лермонтово на западе и Маргаовит на востоке;
- северные склоны Памбакского хребта (в бассейне реки Лернаджур — правого притока реки Памбак);
- юго-западные склоны Цахкуняцкого хребта в верховьях реки Касах на участке Апаранской равнины (здесь

селеактивными являются левые притоки реки Касах);

- северные склоны Иджеванского хребта и юго-восточные склоны хребта Вираайоц (здесь сильной селеактивностью характеризуется бассейн реки Хахапюр, впадающей в реку Агстев слева примерно в 3 км севернее северной окраины города Иджеван);
- юго-западные склоны Севанского хребта на участке от реки Артундж на северо-западе до села Авазан на юго-востоке хребта;
- юго-западные склоны хребта Вираайоц на участке между селами Мецаван на западе и Овнаджур на востоке и юго-восточные его склоны на участке между селами Шамлут на северо-западе и Чичкан на юго-востоке;



Рис. 3. Возможные участки подпора воды при сильных ливнях (фото В. Бойнагряна)

- верховья рек Ахум, Тавуш, Хндзорут на северных склонах Миапорского хребта;
- менее селеактивны южные склоны хребта Арегуни.

Для бассейнов рек Памбак, Ахум, Тавуш, Хндзорут, юго-западных склонов Севанского хребта, юго-западных и западных склонов массива Арагац характерны грязекаменные сели, а для бассейнов рек Дзорагет, Дебед, Агстев, Ванадзор, Тандзут, частично Памбак — водокаменные сели.

Селеактивность разных участков северных областей Армении обусловлена природными причинами: крутизной склонов и русел рек, залесенностью или обнаженностью склонов, характером выпадения осадков и снеготаяния, наличием рыхлообломочных скоплений на склонах гор и возможностью их вовлечения в селевые потоки в качестве твердой составляющей и др. Эти причины неизменны в ближайшем будущем, поэтому сели и паводки будут и впредь формироваться в тех же речных бассейнах.

За период с 1987 по 2007 год в северных областях Армении было отмечено 88 случаев сильных ливней и 128 случаев града, что послужило причиной формирования 194 селей, причинивших значительный ущерб населенным пунктам, сельскохозяйственным угодьям, транспортным коммуникациям. За этот же период было отмечено 479 случаев затопления антропогенных объектов в результате чрезвычайных гидрометеорологических явлений (бурного снеготаяния, сильных ливней, града, селей и паводков).

В последние годы сели и паводки в северных областях Армении были связаны с бурным весенним снеготаянием, вызванным резким повышением температуры воздуха буквально за 2–3 часа почти на 10 °С. При весеннем снеготаянии в отмеченных областях уровень воды в реках повышался на 1,5–2,5 м, а расход воды — в 10–28 раз. Ясно, что при таком подъеме уровня воды и таком увеличении расхода вода должна поместиться в живом сечении русла, чтобы не выйти за его пределы и не затопить окрестности. В то же время почти все русла временных водотоков и мелких речек, а также искусственных каналов (бетонных водоотводящих сооружений) завалены на территориях сел строительными и бытовыми отходами или заросли плотным кустарником и различными сорняками (рис. 2). Аналогичная картина наблюдается и под мостовыми пролетами и перед отверстиями водоотводящих труб (рис. 3). Поэтому при ливнях и бурном снеготаянии вода не умещается в естественном русле, выходит из «берегов» и затопляет все пониженные участки.

Во многих селах прямо на пути временных водотоков построены разные



Рис. 4. Современное состояние долины реки Ахтала — левого притока реки Дебед (фото В. Бойнагряна)

сооружения (гаражи, хлев, разделительные стены между частными владениями), а для стока воды между ними проложены трубы диаметром 0,5 м, которые, естественно, не справляются со своей задачей при увеличении объема воды.

Природные условия (рельеф, литологический состав горных пород и характер материала их выветривания, фильтрационная способность поверхностных грунтов, степень залесенности и задернованности горных склонов и крутизна последних, характер выпадения ливней и их интенсивность и пр.) обуславливают возможность формирования в северных областях Армении селей разного состава, активности и мощности, а также паводков и половодий.

Сели и паводки могут образовываться и в результате катастрофических подвижек имеющихся в долинах рек активных оползней, которые оставлены на произвол судьбы и по отношению к которым не проводятся никакие противооползневые мероприятия. Места, опасные с точки зрения возможности образования заторов на реках с перекрытием русла, имеются в долинах рек: Гетик (правого притока реки Агстев) у сел Мартуни, Айгут, Туджур; Агстев у сел Агарцин и Овк; Дебед у села Одзун и др. Неоднократные подвижки ряда этих оползней отмечались в последние годы (а ведь в трагедии Крымска первоначальное накопление большого объема воды произошло именно из-за перекрытия русла речки небольшим оползнем).

Антропогенный фактор вносит свои коррективы в формирование селей бессистемным размещением отвалов горных выработок на прилежащих к руслам рек склонах гор, а также склади-

рованием этих отвалов, строительных и бытовых отходов непосредственно в руслах рек или на их бортах, что создает большие объемы рыхлообломочного материала — потенциальной твердой составляющей селевых потоков, а также материала для образования заторов перед мостами и различными водопропускными сооружениями под дорогами.

Большую угрозу для окружающей среды представляют отвалы горных выработок в долине реки Ахтала, склоны и русло которой представляют собой «антропогенную пустыню», сложенную разноцветными рыхлообломочными отложениями с протекающим среди них сине-зеленым «раствором» (рис. 4).

Выводы и рекомендации

Исследования показали, что опасности затоплений при селях и паводках в северной части Армении подвержены:

- в области *Арагацотн*: территории города Апаран и сел Риа-Таза, Алагяз, Сарамеч, Гехарот, Арагац, Шенаван, Араи, Кучак, Вардаблур, Амре-Таза, Цахкавит, Гехадзор, Дузкенд, Хнаберд, Мец Манташ, Кат-

нахпюр, Мастара, Верин Талин, Сарнахпюр;

- в области *Гегаркуник*: территории города Мартуни и сел Бабаджан, Джил, Артаниш, Цахкунк, Зовабер, Ддмашен, Драхтик, Арегуни, Еранос, Дзорахпюр, Цаккар, Астхадзор, Кясаман, Караиман, Гукарич, Авазан, Сотк;
- в области *Ширак*: территории сел Арегнадем, Магараджук, Воскеаск, Вардакар, Нор Кянк, Паник, Меграшен, Гетапи, Саратак, Бениамин, Пемзашен, Азатан, Покр Сепасар, Ашоцк, Камо, Мусаелян, Красар;
- в области *Лори*: территории сел Джрашен, Лернаван, Цахкабер, Лернанцк, Карадзор, Гергер, Привольное;
- в области *Тавуш*: территории сел Цахкаван, Севкар, Ачаджур, Дитаван, Айгеовит.

В большинстве названных населенных пунктов необходимо углубить хотя бы на 1 м русла проходящих через них речек и временных водотоков, а также очистить их русла и борта от бытовых и строительных отходов во избежание вовлечения последних в селевые потоки в качестве твердой составляющей или создания ими заторов воды перед мостами и водопропускными сооружениями под дорогами.

Выше ряда сел (Джрашен, Лернаван, Цахкабер, Цахкаван, Севкар, Ачаджур, Дитаван, Айгеовит и др.) необходимо соорудить невысокие барражи высотой не более 4–5 м для задержки селей и паводков, а в устье реки Ахтала перед ее впадением в реку Дебед необходимо создать плотину, чтобы опасные накопления отработанной породы из русла р. Ахталы не прорвались в р. Дебед.

На ряде участков необходимо укрепить активные оползни, которые могут при катастрофических подвижках перекрыть русла рек, создать временные запруды, а затем при прорыве последних сформировать паводочные волны значительной высоты со всеми катастрофическими последствиями (как, например, в случае Крымска). К таким участкам относятся в первую очередь: села Агарцин и Овк в долине реки Агстев; села Мартуни¹, Айгут и Туджур в долине реки Гетик и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойнагрян В.Р. Делювиальный смыв в горах Армянского нагорья и его воздействие на развитие склонов // Известия НАН РА. Науки о Земле. 1995. № 2–3. С. 88–93.
2. Бойнагрян В.Р. Опустынивание территории Республики Армения (постановка вопроса, факторы, индикаторы, защитные мероприятия) // Ученые записки Ереванского университета. Естественные науки. 2005. № 2. С. 129–138.
3. Бойнагрян В.Р. Реки и речные долины Армянского нагорья. Ереван: Изд-во ЕГУ, 2009. 154 с.
4. Бойнагрян В.Р. Склоны и склоновые процессы Армянского нагорья. Ереван: Изд-во ЕГУ, 2007. 280 с.

¹ В Армении есть два Мартуни — город на берегу озера Севан и село в долине реки Гетик. В данном случае речь идет о селе Мартуни в долине реки Гетик.

АКТИВНОСТЬ СЕЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ И БЛИЖНЕГО ЗАРУБЕЖЬЯ В XXI ВЕКЕ

MUDFLOW ACTIVITY IN THE TERRITORY OF RUSSIA AND NEIGHBORING COUNTRIES IN THE 21 CENTURY

МАЛЬНЕВА И.В.

Ведущий научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института гидрогеологии и инженерной геологии (ФГУП «ВСЕГИНГЕО»), Московская обл., irmaln@rambler.ru

КОНОНОВА Н.К.

Ведущий инженер Института географии РАН, г. Москва, NinaKononova@yandex.ru

MALNEVA I.V.

A lead staff scientist of the All-Russian Research Institute for Hydrogeology and Engineering Geology (VSEGINGEO), the Moscow Region, irmaln@rambler.ru

KONONOVA N.K.

A lead engineer of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, NinaKononova@yandex.ru

Ключевые слова: активность; сели; атмосферная циркуляция; селевая катастрофа.

Аннотация: в статье проанализированы данные о селях, в том числе катастрофических, в различных горных регионах России и ближнего зарубежья, которые сошли в начале XXI века. Они сопоставлены с особенностями селевой активности в XX веке. Анализ проводился по разработанной авторами методике, позволяющей дать оценку активности селей на основании конкретных случаев их проявлений. Для анализа условий их возникновения использована типизация циркуляции атмосферы Северного полушария, разработанная под руководством Б.Л. Дзердзеевского. Дана оценка ожидаемой активности селей на ближайшие годы.

Key words: mudflow; atmospheric circulation; mudflow catastrophe.

Abstract: the article analyzes data on mudflows including catastrophic ones in various mountainous regions of Russia and adjacent countries that occurred in the beginning of the 21 century. The data are compared with the mudflow activity features in the 20 century. The analysis is carried out by the authors' method permitting to estimate mudflows activity on the basis of concrete cases of their manifestation. To analyze the conditions of their generation the typification of the Northern Hemisphere atmospheric circulation developed under the guidance of B.L. Dzerdzeevskiy is used. The expected mudflow activity for the nearest years is assessed.

Введение

Современные изменения климата сопровождаются ростом повторяемости метеорологических экстремумов, что, в свою очередь, ведет к увеличению повторяемости опасных природных процессов. Горные территории особенно чувствительны к изменениям метеорологического режима.

Наиболее опасными природными процессами в горах, быстро реагирующими на изменения погоды, являются сели, приносящие значительные разрушения. В России к наиболее селеопасным относятся Северный Кавказ и Тихоокеанский регион (Камчатка, Сахалин, Курильские острова). В XX веке много работ было посвящено селям и условиям их формирования, позволяющим оценить активность их проявления. Однако большая часть этих работ имела описательный характер, а механизм селевого процесса был рассмотрен недостаточно.

За последние 20 лет фактически разрушена система наблюдений за селями, учет их проявлений практически не ведется. Однако в настоящее время опасность схода селей увеличивается, что обусловлено современным состоянием климатической системы и возрастающим техногенным воздействием на геологическую среду. Поэтому требуется оценка современной актив-

ности селей и тенденции изменения их активности в ближайшие годы.

1. Методы и материалы

Авторами настоящей статьи были собраны и проанализированы данные о селях, в том числе катастрофических, в различных горных регионах России и стран СНГ, где они представляют особенно большую опасность. Установлены даты и места их проявлений, пострадавшие населенные пункты. Использовалась разработанная авторами методика, позволяющая оценить активность селей на основании конкретных случаев их схода и спрогнозировать тенденцию их развития на основании изменчивости факторов, их обуславливающих. В соответствии с этой методикой для каждого случая авторами был выбран элементарный циркуляционный механизм (ЭЦМ) по типизации Б.Л. Дзердзеевского [4], отмечавшийся в день прохождения селя и в предшествовавший период. Для этого использовался календарь последовательной смены ЭЦМ, а также расчеты суммарной месячной и годовой продолжительности ЭЦМ и групп ЭЦМ. Материалы типизации с 1899 по 2011 год размещены в сети Интернет (www.atmospheric-circulation.ru), опубликованы в книге [6] (по 2008 г.) и продолжают накапливаться. Данные материалы дают возможность

определить условия возникновения любого метеорологически обусловленного опасного процесса и выявить ЭЦМ, при которых формирование подобных процессов наиболее вероятно (процессоопасные ЭЦМ).

Авторами также были использованы сведения о количестве осадков, средних и максимальных температурах воздуха по данным метеорологических станций, расположенных в селеопасных районах.

2. Содержание исследований

2.1. Изменение активности селей в XX веке

Под активностью селевых процессов понимается частота их проявлений или продолжительность межселевых периодов [19]. Эта величина зависит от силы воздействия быстроизменяющихся факторов на геологическую среду. *Активность селей изменяется во времени и испытывает циклические колебания различной продолжительности в зависимости от факторов, обуславливающих их развитие.* Она различается в селеопасных районах в зависимости от условий формирования селей.

Для каждого уровня исследований выделяются соответствующие режимобразующие факторы, в первую очередь метеорологические, данные по которым получаются как из материалов Росгидромета, так и по наблюдениям селевых стационаров. На основании режимных наблюдений и всей имеющейся информации о проявлениях селевых процессов, содержащейся как в опубликованных, так и в фондовых материалах, составляются временные ряды селей.

Однако временные ряды, полученные на основании режимных наблюдений, короткие и недостаточно представительные. На территории России только для бассейнов некоторых рек Северного Кавказа, в частности рек Баксан, Чегем, Черек, можно составить временные ряды. При отсутствии рядов наблюдений за селями может быть

Таблица 1

Макроциркуляционные процессы, приносящие селеопасную погоду в различные горные системы			
Горная система	Селеопасные районы		Селеопасные ЭЦМ для горной системы в целом
Хибины	-		2а, 2б, 3, 6, 7ал, 9а, 12а, 13л
Полярный Урал	-		2а, 2б, 6, 7ал, 7бл, 8а, 12а, 13л
Карпаты	Бассейн реки	Тиса	4в, 6, 12а
		Прут	2а, 7ал, 9а, 10а
		Днестр	10а
Крым	Юго-Западный		7аз, 9а, 11в, 13л
	Юго-Восточный		9а, 13л
Кавказ, бассейн Черного моря	Бассейны рек Абхазии		2а, 12а, 13л
	Бассейн реки	Ингури	12а, 13л
		Риони	13л, сочетание 12а и 13л
		Цхенисцкали	13л
Центральный Кавказ	-		2а, 4б, 10б, 13л
Средняя Азия, бассейны рек Сырдарья и Нарын	-		2в, 3, 4б, 7ал, 8а, 10а, 12а, 12бл, 12вл, 13л
Восточная Сибирь	Забайкалье		2а, 7ал, 8бл, 8вл, 9а, 12а, 12бл, 12вл, 13л
	Прибайкалье		2а, 2б, 2в, 3, 4в, 7ал, 9а, 10б
	Южная Якутия		12а, 12бл, 12вл, 13л
Дальний Восток	Восточные склоны хребта Сихотэ-Алинь		7ал, 9а, 12а, 13л
	Остров Сахалин		12а, 13л

использован дендрохронологический метод, разработанный А.М. Лехатиным и позволяющий установить проявления селевых процессов по годам [13]. В основном результаты режимных наблюдений за ними используются для выявления причинно-следственных связей между селями и факторами, их обуславливающими, а долгосрочные прогнозы схода селей составляются на основании закономерностей, установленных для временных рядов различных факторов.

А.И. Шеко были проанализированы фактические данные о проявлениях селевых процессов в различных регионах и на основе фактических данных построены временные ряды для Кавказа и Средней Азии в целом, а также по отдельным регионам, различающимся по физико-географическим особенностям и особенностям геологического строения. Практически во всех рядах наибольшее число селей наблюдалось в 50–60-х годах XX века (на Кавказе — в 1953–1967 годах, в Средней Азии — в 1963–1970 годах.) Наиболее активными были годы, приуроченные к переломным моментам в ходе солнечной активности, ее максимумам (например, 1895, 1905, 1927, 1936–1940, 1957–1960 на Кавказе) и минимумам (например, 1910, 1914, 1930, 1953, 1963 на Кавказе) [18].

Наиболее полные сведения об активности селей в XXI веке имеются для бассейнов крупных рек Центрального Кавказа. Здесь к концу XX века накоплены данные о проявлениях селевых процессов за столетний период, позволяющие провести детальный анализ условий формирования селей. В последние десятилетия XX века в ходе различных обследований были изучены и охарактеризованы все крупные селевые потоки независимо от наносимого ими ущерба (например, И.Б. Сейновой они рассмотрены в работе [15] для бассейна реки Баксан). До 1960 года фиксировались только сели, наносившие ущерб, что привело к потере сведений об общем их количестве, но все же позволяет достаточно объективно характеризовать распределение селевой активности во времени.

В среднем 1–2 раза в десятилетие происходит усиление селевой активности (наблюдается массовый сход селей).

2.2. Влияние климатических условий на активность селей

Проведенный анализ позволяет отметить, что формирование твердой и жидкой составляющих селей в значительной степени определяется влиянием основных изменяющихся факторов — атмосферных осадков, темпе-

ратуры воздуха, а также характером погоды в целом.

Для анализа условий формирования селей, обусловленных соответствующим характером погоды, авторами разработана методика, базирующаяся на том, что погода в конкретном районе определяется особенностями циркуляции атмосферы и количественно выражается числом дней с различными ЭЦМ [7, 16].

Исследование активности селей осложняется недостаточной информацией об их проявлениях, а в некоторых местах и отсутствием достаточно длительных и репрезентативных рядов метеорологических наблюдений. Поэтому важно установить связь между селями и ЭЦМ, каталогизация которых ведется с 1899 года. Для выявления таких связей были проанализированы все известные случаи прохождения селей в горных системах России и стран ближайшего зарубежья [21]. Были установлены характер погоды, способствующий формированию селей, и ЭЦМ, обуславливающие эту погоду.

Механизм влияния циркуляции атмосферы на развитие опасных процессов заключается в том, что типу погоды при определенном ЭЦМ соответствуют определенные режим и степень увлажнения территории, температурный режим. При этом для каждого из

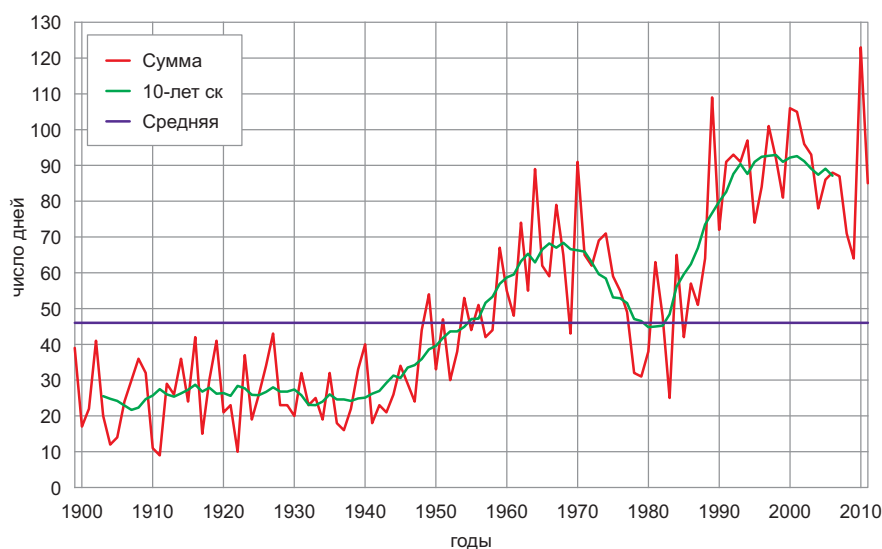


Рис. 1. Суммарная продолжительность селеопасных ЭЦМ (2а, 7ал, 9а, 12а, 13л) за селеопасный сезон (апрель–август) для горных систем России и ближнего зарубежья

опасных экзогенных геологических процессов (ЭГП) характерен определенный тип погоды, способствующий увеличению его активности, а для пород различных стратиграфо-генетических комплексов — способствующий разрушению и накоплению рыхло-обломочного материала.

В основу использованной типизации положены направления и количество блокирующих процессов и выходов южных циклонов во всем Северном полушарии. В то же время наличие динамических схем положения и перемещения барических образований при каждом ЭЦМ (www.atvospheric-circulation.ru) позволяет определить синоптическую ситуацию и характер погоды в любой точке полушария. Выделено 13 типов циркуляции, которые обозначаются арабскими числами от 1 до 13. Варианты каждого типа обозначены первыми буквами алфавита (а, б, в, г). Выделены летние (л) и зимние (з) разновидности ЭЦМ, обусловленные сезонными различиями состояния подстилающей поверхности. Всего выделен 41 ЭЦМ. По числу блокирующих процессов в Северном полушарии и выходов южных циклонов они объединены в 4 группы: (1) зональная циркуляция (1–2-й типы); (2) нарушение зональной циркуляции (3–7-й типы); (3) меридиональная северная группа (8–12-й типы); (4) меридиональная южная группа (13-й тип). Продолжительность действия единичного макропроцесса в среднем равна 3,5 суткам при колебаниях от 1 до 11 суток. В современный период ЭЦМ стали чаще сменять друг друга [7]. С частой сменой ЭЦМ связаны резкие колебания погоды, что способствует активизации опасных природных процессов.

При анализе всех известных случаев прохождения селей в горных системах Крыма, Кавказа, Средней Азии,

Восточной Сибири и Дальнего Востока [21] определена суммарная продолжительность каждого ЭЦМ в период прохождения селя и в предшествующий селеопасный сезон. По ежедневным данным ближайшей длиннорядной метеостанции в каждом селеопасном районе проведен расчет количества осадков (мм) и их повторяемости (%) при каждом ЭЦМ. Таким образом, выявлены осадкообразующие ЭЦМ для каждого селеопасного района. Для районов формирования гляциальных селей по ежедневным данным были выявлены ЭЦМ, способствующие повышению температуры воздуха.

В результате проведенных исследований выявлены селеопасные ЭЦМ для каждой горной системы в целом и общие для всех горных систем (табл. 1). Как видно из табл. 1, наиболее селеопасными для различных горных систем являются ЭЦМ 2а, 7ал, 9а, 12а и 13л. Многолетние изменения суммарной за селеопасный сезон продолжительности данных ЭЦМ представлены на рис. 1.

В течение XX–XXI веков отмечается общий рост суммарной продолжительности этих ЭЦМ за селеопасный сезон (апрель–август), сопровождающийся значительными колебаниями. Предыдущий период существенного повышения суммарной продолжительности селеопасных ЭЦМ отмечался в 60-е годы XX века, когда также увеличивалась активность селей в разных регионах. Тогда продолжительность этих ЭЦМ была приблизительно вдвое меньше современной. Новый период роста суммарной продолжительности селеопасных ЭЦМ начался после минимума 1983 года (25 дней в селеопасном сезоне). С 1989 года по настоящее время продолжительность этих ЭЦМ почти вдвое превышает среднюю многолетнюю.

Это отражается на активности селевых процессов в разных регионах.

2.3. Наиболее значительные селевые катастрофы XXI века

Начало XXI века отмечено катастрофическими гляциальными селями на реке Герхожансу (в бассейне реки Баксан) в Кабардино-Балкарии 18–25 июля 2000 года. В зоне поражения оказались две трети города Тырныауз, получили разрушения многочисленные здания и сооружения, имелись человеческие жертвы. Причиной катастрофы явилась погода. До прохождения селей в июле длительное время стояла необычно жаркая и сухая погода при ЭЦМ 13л, обеспечившая интенсивное таяние ледников. Произошли значительные изменения ледниково-моренных комплексов, следствием чего и явилась катастрофическая активизация селей [12].

2002 год отличается катастрофическими проявлениями опасных природных процессов по всей территории Северного Кавказа, прежде всего в низкотерриториях и предгорьях. Сильные дожди предположительно 1% обеспеченности выпали по всей территории Северного Кавказа за период с 29 мая по 8 июня и после 17 июня. Пострадала территория от Краснодарского края до Дагестана — сильные дожди вызвали паводки и селевые потоки. В этом же году произошел обвал ледника Колка. Не последнюю роль в этом событии сыграло рекордное количество осадков в конце мая — начале июня в этом регионе.

Следующий опасный период наступил в начале августа 2002 года, когда от проявлений селевых процессов и массовой активизации оползней в поверхностных отложениях пострадало Черноморское побережье и прилегающие горные территории. Характер погоды был обусловлен соответствующим характером атмосферной циркуляции, значительной продолжительностью и частой повторяемостью ЭЦМ 12а и 13л в периоды катастроф. При этом наблюдались выходы южных циклонов, но при ЭЦМ 12а рядом проходило арктическое вторжение, что делало погоду особенно неустойчивой [8].

Эти же ЭЦМ господствовали в 2002 году и на острове Сахалин, вызвав катастрофические наводнения и активизацию оползней и селей. При ЭЦМ 13л на Сахалине очень велика опасность тайфунов. Вероятность возникновения тайфунов также велика и при других ЭЦМ (8а, 12вз, 8бл, 12а). Она увеличилась в современную циркуляционную эпоху вместе с общим ростом суммарной продолжительности меридиональных ЭЦМ.

В таблице 2 представлены наиболее мощные тайфуны на Сахалине за последние десятилетия и типы атмо-



Рис. 2. Проявления оползневых и селевых процессов на Макаровской площади в 1990–2004 гг.

сферной циркуляции, наблюдавшиеся в это время.

Во всех случаях активизации оползней и селей на острове Сахалин, связанных прежде всего с тайфунами, большое значение имеет характер погоды, наблюдавшийся в течение всего периода подготовки проявлений этих опасных процессов. Для глинистых пород в селевых очагах Сахалина наиболее опасна погода при ЭЦМ 13л, когда происходит интенсивное увлажнение пород и подготовка твердой составляющей селей. Изменение активности оползней и селей по годам показано на рис. 2 [20].

Преобладающие на острове Сахалин песчано-глинистые и другие грунты (сланцы, алевролиты, песчаники мела и палеогена) в очагах зарождения селей не отличаются высокой прочностью. Они очень быстро выветриваются, особенно при резких колебаниях режима увлажнения. Это является важным фактором развития оползневых и селевых процессов.

В начале августа 2006 года преобладание ЭЦМ 13л обеспечило в высокогорьях Центрального Кавказа очень жаркую погоду — максимальные суточные температуры воздуха в

течение нескольких дней превышали 30 °С. В результате интенсивного таяния ледников 11 августа прошел мощный гляциальный селя в верховьях реки Малка.

В августе 2007 года при аналогичных метеорологических условиях катастрофический гляциальный селя сошел по долине реки Чегем (Центральный Кавказ). Пострадало село Булунгу.

3 июня 2007 года оползнем и селом была разрушена Долина гейзеров на Камчатке. Катастрофическая ситуация в значительной степени была обусловлена циркуляционными факторами и особенностями погоды, характерными для них. В мае 19 дней занимали летние типы 8бл, 9а, 13л, что объясняет высокий температурный фон. С 24 апреля средняя температура воздуха не опускалась ниже 0 °С даже в ночное время, а со 2 мая и минимальная температура стала положительной. Именно с этими ЭЦМ связано одно из ключевых событий, предшествовавшее катастрофе: 28 мая на Камчатку вышел (ЭЦМ 9а) бывший тайфун из южных широт, который бушевал на ее территории 29–30 мая (ЭЦМ 13л) и покинул ее 31 мая (ЭЦМ 8бл), что вызва-

ло резкое повышение температуры и выпадение обильных осадков, ускорившее таяние ледников.

В 2009 году наблюдалась сильная активизация оползней и селей на Сахалине 22–24 июня [2] при ЭЦМ 12бл (22 июня) и ЭЦМ 12а (23–24 июня). Отмечалось более 50 случаев схода селей. Наблюдалась рекордная оползневая активность. Из-за сильной активизации оползней и селей в 2009 году возникла опасность повреждения транссахалинской трубопроводной системы [2, 10, 14].

В 2010 году на Сахалине было два периода активизации в западной части острова (в районах городов Холмск и Невельск) и на его южном берегу (в районе города Корсаков). Массовая активизация в Невельске и Корсакове произошла 28–30 июля (28 июля — ЭЦМ 8вл, 29–30 июля — ЭЦМ 13л). Рекордно массовая активизация в Холмске [14] произошла 10–12 августа (ЭЦМ 9а).

Летом 2011 года в Приэльбрусье была жаркая погода и выпало большое количество осадков. Вследствие этого и наличия достаточного количества рыхлообломочного материала на территории Кабардино-Балкарии прошли гляциально-ливневые сели в бассейнах рек Черек Балкарский, Чегем, Баксан (16 июля — ЭЦМ 9а; 21 июля — ЭЦМ 13л; 3 августа — ЭЦМ 12а). Отметим, что весной и в июне здесь было велико число дней с ЭЦМ 12а.

В настоящее время очень мало сведений об активности селей в XXI веке в странах ближнего зарубежья. Источником сведений о проявлениях селевых процессов и различных природных катастрофах является в основном система Интернет (<http://www.meteonovosti.ru>).

В конце апреля — начале мая 2005 года в Грузии произошло самое масштабное наводнение за последние 30 лет вследствие необычайно сильных проливных дождей. В основном пострадала Западная Грузия. В Сванетии (горной области на северо-западе Грузии) селевые потоки разрушили свыше 500 жилых домов (<http://txt.newsru.com/world/27apr2005/potop.html>). Из-за угрозы схода селей и камнепадов была полностью закрыта Транскавказская магистраль. Сели дождевого генезиса прошли и в Северной Осетии — Алании. Провальные дожди, которые спровоцировали наводнение, начались с выходом южного циклона при ЭЦМ 13л и продолжились при ЭЦМ 8а. В целом весь указанный период вследствие особенностей погоды был селе- и оползнеопасным.

Весной 2010 года при повышенной продолжительности ЭЦМ 12а и 13л отмечена значительная активизация оползней и селей в низкотерридных районах Таджикистана, в бассейне реки Вахш, где в отличие от Европейской

Таблица 2

Наиболее мощные тайфуны Тихоокеанского региона и ЭЦМ в соответствующие периоды			
Год	Дата	Название тайфуна	ЭЦМ в период тайфуна
1961	16–17 сентября	-	5г
1972	12–16 сентября	Мария	13л, 12а
1981	5–6 августа	Филлис	13л
1992	14–17 августа	Робин	13л
1996	23–26 сентября	Виолетта	9б, 13л
2000	5–6 сентября	Саомей	13л
2002	11–15 июля	Чатаан	13л, 3
2002	2–3 сентября	Руса	13л

Сведения о проявлениях селевых процессов на юге Таджикистана

Год	Дата	Место прохождения селея	Причина	ЭЦМ
2007	16 апреля	Муминабадский, Турсунзадеевский р-ны	Ливни	13л
2007	6 июня	200 км к югу от г. Душанбе	Ливни	10б
2008	14 октября	Пригород г. Душанбе	Ливень	7бз
2009	11 апреля	Юг Таджикистана	Ливень	13з
2009	21–22 апреля	Хатлонская обл.	-	13л
2009	8 мая	г. Душанбе	Сильные ливни	12вл
2009	14 мая		Дожди	12вл
2009	20 мая		-	8гл
2010	23 апреля	Шуроабадский р-н	-	9а
2010	5 мая	г. Куляб (юг Таджикистана)	-	12а
2010	7 мая		Ливень	12а
2010	8 мая		Паводок вследствие ливня	12а
2010	11 мая		-	12а
2010	18 мая		-	12а

России выпало аномальное количество осадков (<http://www.ecoteco.ru/news/n19525>).

Наиболее значительное количество осадков в весенний период, когда более вероятно формирование селей, связано с ЭЦМ 12-го и 13-го типов, особенно с ЭЦМ 12а. Сведения об отдельных случаях проявлений селевых процессов на юге Таджикистана представлены в табл. 3. Как наиболее селеопасные для этого региона нужно выделить циклонические ЭЦМ 12а, 13л, 12вл, 9а. Сели при них провоцируются обильными осадками.

Прошедшие в июне 2011 года ливневые дожди снова вызвали наводнения и сход селевых потоков по всей Грузии. В Южной Осетии сели сошли снова на Транскавказскую магистраль. При этом в конце июня погода определялась преобладанием ЭЦМ 13л (21–25 июня) и 12а (28 июня — 3 июля).

В 2012 году опасность природных катастроф в Таджикистане снова была очень велика. Вследствие аномально высоких температур стремительное таяние снега привело к сходу селевых потоков в горных районах страны 29 марта 2012 года (ЭЦМ 13л). Весенние паводки и сели стали причиной гибели десятков людей. От проливных дождей, которые прошли в Таджикистане в апреле–мае 2012 года, пострадали сотни домов, ущерб составил более 1 млн долларов. Особенно пострадал город Куляб, где было разрушено более 200 жилых домов. Причиной катастрофы также была погода, обусловленная чередованием ЭЦМ 13л, 12а, 9а. 8 июня селевые потоки обрушились на восток Таджикистана. При этом погода в июне 2012 года характеризовалась

чередованием наиболее селеопасных ЭЦМ — 12а, 13л, 9а (<http://stopfire.ru/content/3484/17557>).

13 мая 2012 года мощнейшее за 40 лет наводнение, вызванное обильными ливнями, произошло в Грузии. Во многих районах прошли паводки и селевые потоки (<http://www.webground.su/tema/2012/05/13/tbilisi/>).

По этой же причине с 15 мая по 18 июня 2012 года отмечалась селевая опасность в Киргизии.

2.4. Оценка активности селей в будущем

На основании анализа обусловленной состоянием климатической системы активности селей на территории России и ближнего зарубежья в начале XXI века можно предположить, как изменится эта активность в ближайшие годы.

Для оценки предстоящей селеопасности была выполнена экстраполяция временных рядов продолжительности селеопасных ЭЦМ методом гармонического анализа и рассчитана продолжительность указанных ЭЦМ до 2025 года на уровне 5-летних скользящих средних величин. Расчеты показали, что в ближайшие 10–15 лет селеопасность будет сохраняться на современном, то есть самом высоком с начала наблюдений, уровне (рис. 3) [9].

Об опасности проявлений селевых процессов можно судить по характеристикам космической погоды. При этом целесообразно уделять внимание анализу тех показателей, которые связаны с изменениями активности Солнца.

В прямой зависимости от солнечной активности находятся рассмотренные выше циркуляционные условия формирования селей, а также экстремаль-

ные ливни, обусловленные этими условиями [1]. Сейчас идет всего лишь второй год роста солнечной активности, начавшегося на стыке 2009 и 2010 годов после очень длительного минимума. «В настоящее время трудно сказать, когда этот рост остановится и какой величины достигнет активность Солнца — иными словами, пока непонятно, когда Солнце пройдет через очередной максимум и какой величины он будет на этот раз, однако по прогнозам достигнуть этой точки наша звезда должна не раньше середины 2013 года. Не исключено, однако, что столь мощное энерговыделение, наблюдаемое уже сейчас, свидетельствует, что скорость роста солнечной активности недооценена и выход на максимум цикла может произойти заметно раньше — до конца 2012 года», — отмечается в «Дневнике проекта» на сайте проекта «ТЕСИС» лаборатории рентгеновской астрономии Солнца Физического института РАН (www.tesis-lebedev.ru).

Вероятность наступления максимума 24-го солнечного цикла в 2012–2013 годах отмечена многими ведущими учеными-«солнечниками» [17]. При этом прогнозируется увеличение количества вспышек на Солнце. Многолетние наблюдения астрономов и физиков позволяют с уверенностью говорить о влиянии, которое оказывают вспышки, на все, связанное с возникающими проблемами на Земле.

Учитывая вышесказанное, авторы в 2011 году уделяли внимание анализу вспышечной активности Солнца, полагая, что вспышки могли оказать влияние на формирование селевых потоков в результате попадания компонентов солнечного ветра в приповерх-

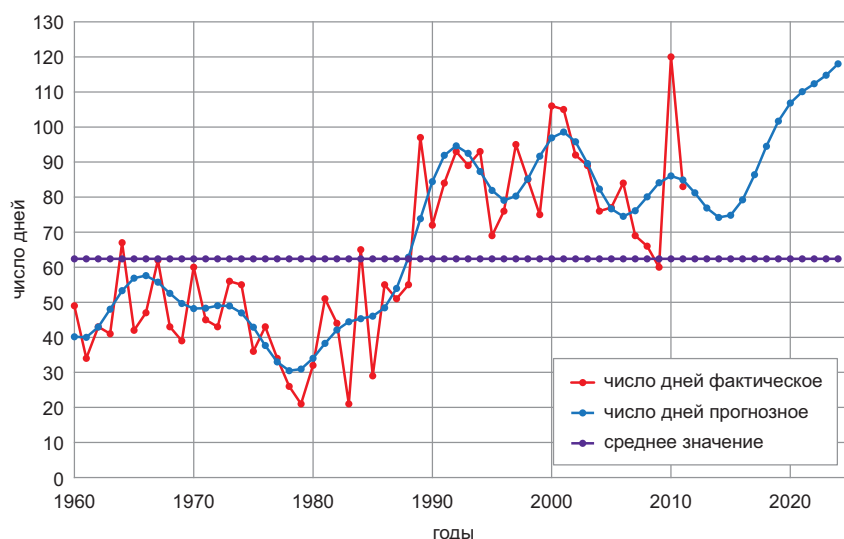


Рис. 3. Число дней с наиболее селеопасными ЭЦМ (9а, 12а, 13л)

ностную область Земли [3]. Так, геоэффективные всплески скоростей и плотности плазмы солнечного ветра наблюдались за несколько дней до селя 16 июля, 21 июля и 3 августа. Источник фактических солнечноветровых данных помещен в Интернете (<http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/lists/ace2.html>). Вместе с тем для оперативной оценки опасности можно пользоваться материалами, представленными на сайте проекта «ТЕСИС» (www.tesis-lebedev.ru). По этим данным можно оценить вспышечную активность Солнца и степень возмущения его магнитосферы. Так, в августе 2011 года непосредственно перед прохождением селей вспышечная активность была достаточно велика. Произошли средние вспышки 2 августа в 12 ч. и 3 августа в 8 ч., а вспышка в 16 ч. приближалась к сильной. Магнитосфера Солнца была наиболее возбуждена в июле (www.tesis-lebedev.ru). Слабая магнитная буря отмечалась 19 июля — накануне селя в бассейне реки Чегем.

Прогнозные данные о характере активности Солнца в 2012 году [10] дают основание предполагать увеличение опасности формирования катастрофических гляциальных селевых потоков в бассейне р. Герхожансу и других рек Кабардино-Балкарии в высокогорьях Центрального Кавказа.

2.5. Влияние техногенного фактора на активность селевых процессов

Активность селей в XXI веке в отличие от XX века помимо климатических намного больше и чаще бывает обусловлена техногенными факторами. Сели стали проходить там, где их раньше не было или не ожидалось. Наиболее сильная активизация происходит при совместном влиянии природных и техногенных факторов, как это было на Северном Кавказе в июне 2002 года. При этом возможно возникновение экологических катастроф.

В последние 20 лет не производится ремонт водохозяйственных сооружений, регулирующих подачу воды населенным пунктам, ливневой канализации. Параметры водопропускных сооружений не соответствуют параметрам паводков.

При обильных осадках регулировать подачу воды невозможно. После 2002 года подобная ситуация сложилась в Северной Осетии, где ливневые дожди 5–9 июня 2010 года привели к паводкам и прохождению селевых потоков по рекам предгорий с последствиями катастрофического характера [5].

Очень большую опасность представляет территория Большого Сочи и Красной Поляны, где при современном увеличении интенсивности хозяйственной деятельности может значительно увеличиться опасность активизации оползней и селей. При ожидаемой увеличивающейся техногенной нагрузке в связи с Олимпийскими играми 2014 года общая степень воздействия природных и техногенных факторов существенно возрастет. Многие хозяйственные объекты могут быть повреждены даже небольшими селями, которые возникают там, где их раньше не было. Для определенных объектов, например нефте- и газопроводов, шоссейных дорог, опасны сели даже малой мощности. Сели в высокогорье и среднегорье этого района возникают в результате развития процессов парагенетического комплекса, проявлениями которых наряду с селями являются оползни, обвалы, осыпи. В условиях преобладания глинистых пород на данной территории большой вред может принести даже незначительная активизация оползней, способствующая активизации селей.

В настоящее время увеличилось количество вредных отходов на различных промышленных предприятиях, которые могут быть вовлечены в селевой

процесс. По предположению ученых мощные селевые потоки горного хребта Хамар-Дабан на юге Байкала могут в 2012 году смыть в озеро отходы Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК), что приведет к крупнейшей экологической катастрофе. После 1971 года крупных селей в этом районе не проходило. Однако при современных климатических условиях, как отмечает В. Лапердин, вовлечение в развитие селевых процессов отходов БЦБК и сход селей вполне возможны (<http://newsbabr.com/?IDE=104059>).

Большую опасность представляют хвостохранилища обогатительных фабрик, особенно тех, которые в настоящее время прекратили работу. Так, возможный прорыв плотины хвостохранилища на реке Гижгит в Кабардино-Балкарии неизбежно приведет к формированию колоссального селевого потока, возникновению катастрофической экологической ситуации не только в бассейне реки Баксан, но и на всем Северном Кавказе до Каспийского моря. Здесь для складирования прошедшего обогащения сырья (пульпы) бывшего Тырныаузского горно-обогатительного комбината (ТГОК) в 1966 году была возведена плотина и сооружены различные объекты для направления отделяющейся от пульпы воды в русло р. Баксан. При этом, по данным комбината «Гипроникель», проектировавшего эти сооружения, р. Гижгит не представляет опасности с точки зрения формирования селей. Однако многие мелкие притоки этой реки селеносны. Сели подпитываются за счет подрезки склонов и русловой отмоски и могут сформировать вынос от 10 до 100 тыс. м³ грязекаменной массы и вызвать прорыв плотины. Само водохранилище в настоящее время переполнено, объем жидких отходов (хвостов) составляет более 110 млн м³. Последние, фильтруясь через земляную плотину и берега, загрязняют грунтовые воды и реки. В составе хвостов отмечается очень высокая концентрация ядовитых химических веществ [11].

Большую опасность представляет колоссальное накопление отходов в хвостохранилищах обогатительных фабрик Садонского свинцово-цинкового комбината в Северной Осетии, который действовал более 150 лет и уже не работает. В непосредственной близости от места, где в настоящее время сосредоточены отходы (более 4,5 млн м³), проходит федеральная автомобильная магистраль «Транскам». На отдельных участках расстояние между магистралью и хранилищем не превышает 20–30 м. В современных климатических условиях эти отходы в результате схода мелких селевых потоков могут попасть на дорогу.

29 августа 2009 года произошел прорыв ограждающей дамбы хвосто-

хранилища Карамкенского горно-металлургического комбината в Магаданской области с ядовитыми отходами из-за сильного подъема воды, вызванного трехдневным ливнем, и селевых потоков в районе дамбы, в результате чего образовался катастрофический загрязненный селевой поток, разрушивший часть города Карамкена и унесший жизни многих людей (*karamken.narod.ru>katastofa_kar.html*).

Заключение

В начале XXI века, когда достаточно велика продолжительность южных меридиональных циркуляционных процессов и растет продолжительность меридиональных северных, очень ве-

лика экстремальность метеорологических факторов. Соответственно, экстремальным является и развитие опасных природных процессов. При сложившемся характере циркуляции возможны экстремумы различных метеорологических показателей.

Учитывая отмеченные особенности атмосферной циркуляции, связанный с ней характер погоды, закономерно-сти планетарных факторов, целесообразно экстраполировать развитие опасных процессов 1960–1970-х годов на настоящее время.

Если изменения характера циркуляции атмосферы будут проходить и далее так же, как в настоящее время, то при дальнейшем увеличении продолжительности меридиональной северной цирку-

ляции может уменьшиться количество гляциальных, но увеличиться количество ливневых и гляциоливневых селей на Северном Кавказе, как это было в 1960–1970-е годы. Увеличится опасность активизации оползней и селей в районе г. Сочи и Красной Поляны — районе проведения Олимпийских игр 2014 года. Сильная опасность оползней и селей также вероятна на Алтае, в Прибайкалье, на острове Сахалин. Нужно быть готовыми к высокой вероятности проявлений опасных природных процессов, обусловленных погодой при указанных элементарных циркуляционных механизмах. Возможны частые перемены погоды, экстремальные засухи и наводнения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 11-05-00573).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вальчук Т.Е., Кононова Н.К., Чернавская М.М. Экстремальные ливни в России в сопоставлении с солнечной активностью и геомагнитной возмущенностью // Труды 7-й Пулковской международной конференции по физике Солнца «Климатические и экологические аспекты солнечной активности», г. Санкт-Петербург, 7–11 июля 2003 г. СПб.: Изд-во ГАО РАН, 2001. С. 47–53.
2. Генсировский Ю.В., Казаков Н.А. Активизация экзогенных геологических процессов на Южном Сахалине 22–24 июня 2009 г. // Геориск. 2009. № 2. С. 56–60.
3. Гонсировский Д.Г. Исследование вопроса связи проявления селей и солнечной активности с помощью метода множественной графической корреляции // Материалы 7-й Международной научно-практической конференции по проблемам снижения природных опасностей и рисков «Геориск-2009», г. Москва, 21 мая 2009 г. М.: Изд-во ИГЭ РАН, ВНИИ ГОЧС, 2009. Т. 1. С. 6–11.
4. Дзержевский Б.Л. Циркуляционные механизмы в Северном полушарии в XX веке // Материалы метеорологических исследований. М.: Изд-во ИГ АН СССР и Междугосударственного геофизического комитета при Президиуме АН СССР, 1968. 240 с.
5. Запорожченко Э.В., Каменев Н.С., Никулин А.С. О причинах катастрофических ситуаций во время дождевых паводков на реках Северной Осетии — Алании в июне 2010 года // Геориск. 2011. № 1. С. 36–40.
6. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзержевскому / отв. ред. А.Б. Шмакин. М.: Воентехиниздат, Ин-т географии РАН. 2009, 372 с.
7. Кононова Н.К., Мальнева И.В. Влияние изменения характера атмосферной циркуляции на активность опасных природных процессов // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2003. № 4. С. 52–62.
8. Кононова Н.К., Мальнева И.В. Вероятность повторения на Северном Кавказе природных катастроф 2002 года // Материалы 5-й Международной конференции «Устойчивое развитие горных территорий», СКГМИ, Владикавказ, 21–23 сентября 2004 г. Владикавказ: Терек, 2004. С. 214–218.
9. Кононова Н.К., Мальнева И.В. Тенденция проявления природных опасностей на территории России в связи с глобальным изменением климата // Материалы Всероссийской конференции по оценке и управлению природными рисками «Риск-2006». М.: Изд-во Российского университета дружбы народов, 2006. С. 8–10.
10. Круподеров В.С., Мальнева И.В., Кононова Н.К., Крестин Б.М. Особенности оценки опасности селей в эпоху аномальных климатических изменений // Геориск. 2007. № 4. С. 36–40.
11. Курбанов С.О., Ахматов М.А. Прогноз и предотвращение чрезвычайной ситуации на хвостохранилище ТВМК в ущелье р. Баксан // Труды Всероссийской конференции по селям, г. Нальчик, 26–28 октября 2005 г. / под ред. М.Ч. Залиханова. М.: ЛКИ, 2008. С. 374–376.
12. Мальнева И.В., Кононова Н.К. Метеорологические условия формирования катастрофических селей в июле 2000 года в бассейне р. Герхожансу и прогноз селевой опасности // Геологическое изучение и использование недр: Научно-технический информационный сборник. М.: Геоинформмарк, 2001. Вып. 6. С. 75–81.
13. Методы долговременных прогнозов экзогенных геологических процессов / под ред. А.И. Шеко, В.С. Круподерова. М.: Недра, 1984. 188 с.
14. Мусохранова Л.А., Генсировский Ю.В., Казаков Н.А. Уязвимость территории населенных пунктов Сахалинской области к воздействию опасных природных процессов и меры, принимаемые для ее защиты // Градостроительство. 2010. № 6. С. 33–39.
15. Сейнова И.Б., Золотарев Е.А. Ледники и сели Приэльбрусья (эволюция оледенения и селевой активности). М.: Научный мир: МГУ, 2001. 203 с.
16. Харламова И. В. Исследование условий формирования селей в горных районах, прилегающих к Черноморскому побережью СССР, с целью их прогноза: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 1981. 19 с.
17. Чумак О.В., Матвейчук Т.В. Прогноз 24-го цикла и реальные данные // Сборник тезисов докладов 7-й конференции «Физика плазмы в солнечной системе», ИКИ РАН, г. Москва, 6–10 февраля 2012 г. URL: <http://www.plasma2012.cosmos.ru/sites/plasma2012.cosmos.ru/files/conf-plasma7-iki-feb2012.pdf>.
18. Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей. М.: Недра, 1980. 296 с.
19. Шеко А.И., Мальнева И.В. Сели. Природные опасности России: в 6 т. Т. 3: Экзогенные геологические опасности / под ред. В.М. Кутепова, А.И. Шеко. М.: КРUYK, 2002. С. 65–87.
20. Kononova, N.K., Malneva I.V. The estimation of mud flow and landslide hazard on the Island Sakhalin in the next decade // Proceedings of the International Geotechnical Symposium «Geotechnical Engineering for disaster prevention and reduction», July 24–26, 2007, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia Seoul: Korean Publishing Company, 2007. P. 180–183.
21. Malneva I.V., Kononova N.K. The activity of mudflow processes in mountains of Russia and adjacent countries in 20 century // International Symposium on Latest Natural Disasters, September 5–8, 2005. Sofia, Bulgaria. CD. Topic VI. Case studies. Conclusions and recommendations. P. 787–800. Topic_6/22_6_p.doc.

Оборудование для геотехнического мониторинга



**Переносные
инклинометры**



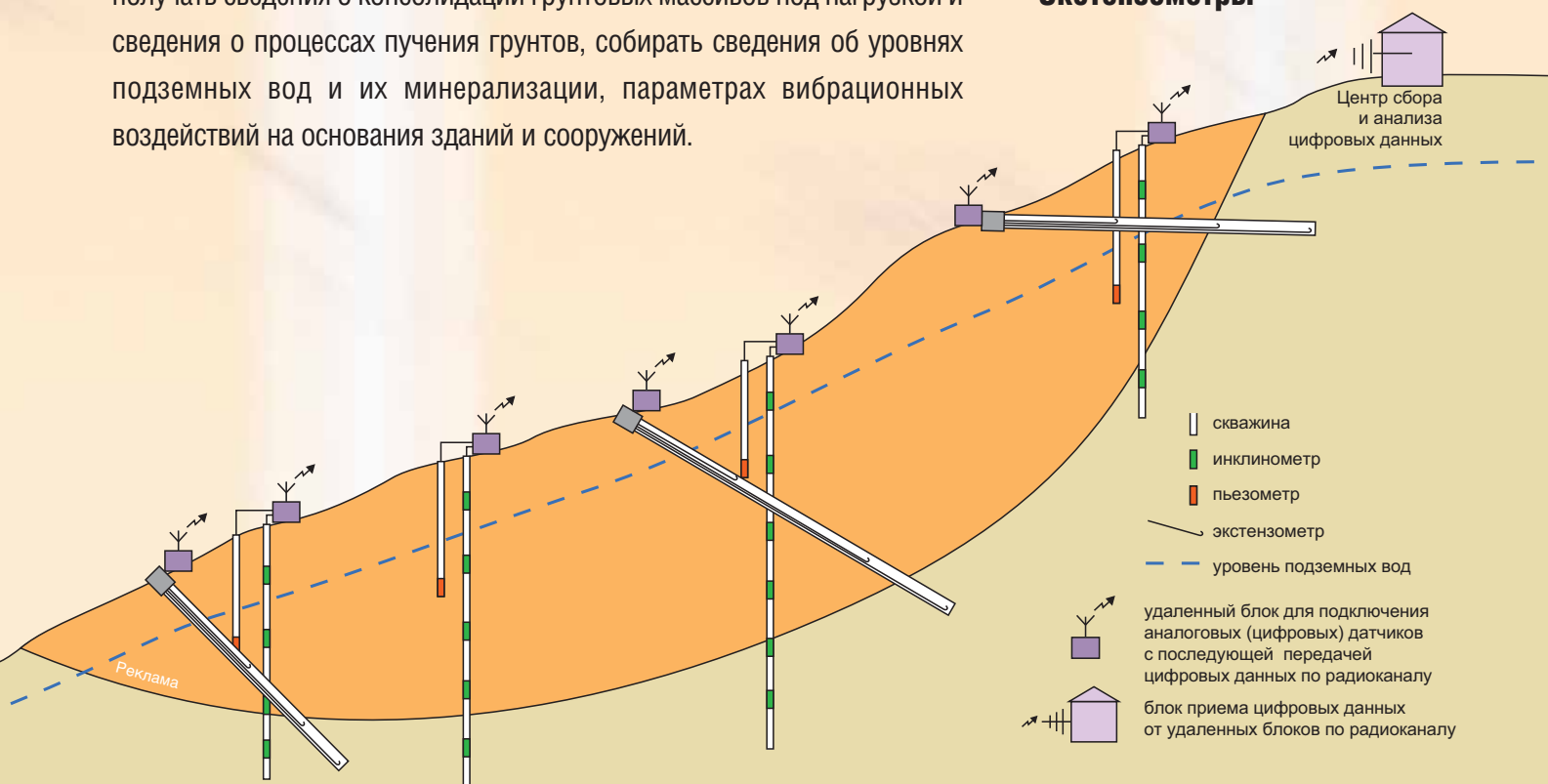
**Пластиковые трубы
для инклинометрии**



**Стационарные
инклинометры**



Экстензометры



ЛАХАРЫ НА ВУЛКАНЕ ПИК САРЫЧЕВА (КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА) ПРИ ИЗВЕРЖЕНИИ 2009 ГОДА И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

LAHARS ON THE SARYCHEV PEAK VOLCANO (THE KURIL ISLANDS) DURING THE 2009 ERUPTION AND THEIR IMPACT ON THE ENVIRONMENT

ГРИШИН С.Ю.

Старший научный сотрудник Биолого-почвенного института
ДВО РАН, к.б.н., г. Владивосток, grishin@ibss.dvo.ru

GRISHIN S.Yu.

A senior staff scientist of the Institute of Biology and Soil Science of the Far Eastern Branch of the Russian Academy
of Sciences, candidate of science (Biology), Vladivostok, grishin@ibss.dvo.ru

Ключевые слова: вулкан Пик Сарычева; Курильские острова; остров Матуа; извержение; лахары; пирокластические потоки; пирокластические волны; поражение растительности.

Аннотация: статья посвящена исследованию зон прохождения четырех лахаров, образовавшихся на склонах вулкана Пик Сарычева на острове Матуа (Курильские острова) при его извержении в июне 2009 года. Это было рекогносцировочное обследование с внешним осмотром и фотографированием данных зон. Кроме того, для анализа параметров лахаров, а также снегового покрова были изучены спутниковые снимки острова. Длина наиболее крупного из них в зоне транзита и аккумуляции достигала 4 км. Запас снега в зоне питания и прохождения этого лахара к началу извержения был около 0,7 млн м³. Раскаленный пирокластический материал вызвал бурное таяние снега. Сформировавшаяся селевая масса состояла из свежих вулканических отложений и ранее извергнутых вулканитов. Масса потока сдирала грунт, почвенный и растительный покровы, обнажая местами склоны до скальных выходов. Поток перенес и отложил около 0,2 млн м³ твердого материала. Мощность отложений составила около 1 м в зоне аккумуляции и до 2–3 м в зоне транзита. Лахар уничтожил растительность на площади около 0,2 км².

Key words: Sarychev Peak volcano; Kuril Islands; Matua Island; eruption; lahars; pyroclastic flows; pyroclastic surges; vegetation damage.

Abstract: the article is dedicated to investigation of the zones of passing of four lahars formed on the slopes of the Sarychev Peak volcano on the Matua Island (Kuril Islands) during its eruption in June 2009. It was a reconnaissance survey with external examination and photographing of those zones. In addition satellite images of the island were studied to analyze the parameters of the lahars and the snow cover. The length of the largest lahar in the transit and accumulation zone reached 4 km. The stock of snow in the area of nutrition of the lahar was about 0,7 million m³. The red-hot pyroclastic material caused rapid melting of the snow. The formed mudflow mass consisted of fresh volcanic sediments and pyroclastics deposited earlier. The lahar abraded the ground, soil and vegetation cover and exposed up the slopes to rocky outcrops in some places. The flow moved and put about 0,2 million m³ of solid material. The thickness of the deposits was about 1 m in the accumulation zone and up to 2–3 m in the transit zone. The lahars destroyed the vegetation in the area of about 0,2 km².

Введение

Лахары — водогрязекаменные потоки, образующиеся в результате воздействия высокотемпературных вулканитов на массы снега и льда, находящиеся на вулканах. В отличие от лахаров, сходящих со склонов крупных и активнейших вулканов Камчатки (Ключевского, Шивелуча, Безымянного, Авачинского и др.), параметры и особенности поведения которых в целом известны [11, 14], данных по ним для вулканов Курильских островов очень мало.

При этом весьма вероятно, что многие из 40 активных вулканов Курил способны формировать лахары при извержениях. Так, было выявлено, что современный г. Северо-Курильск на острове Парамушир стоит на мощных отложениях лахаров вулкана Эбеко, что делает местоположение города потенциально очень опасным [11]. А в ходе мощного субпли-

нианского извержения вулкана Пик Сарычева на острове Матуа в июне 2009 года было извергнуто большое количество пирокластического материала, который в значительной мере перекрыл склоны вулкана и вызвал поражение экосистем [7, 10]. В результате воздействия раскаленных пирокластических масс и волн на снеговой покров со склонов вулкана сошел ряд лахаров, которые, особенно крупнейший из них, были четко видны на космofотоснимках.

В августе 2010 года в ходе изучения последствий извержения 2009 года для растительного покрова острова Матуа удалось кратко обследовать зоны прохождения четырех лахаров, сошедших по склонам южного и юго-восточного секторов вулкана Пик Сарычева. Были исследованы все их участки — питания, транзита и аккумуляции. Обследование проходило как рекогносцировочное, с внешним осмотром и фотографированием этих

зон. Кроме того, для анализа параметров лахаров, а также снегового покрова на острове Матуа были изучены спутниковые снимки разных лет. Наиболее полно характерные черты лахаров были выражены в зоне прохождения самого крупного из них (обозначенного нижней стрелкой на рис. 1), длина которого в зоне транзита и аккумуляции достигала 4 км. Характеристикам изученных лахаров и посвящена настоящая статья.

Природные условия острова Матуа

Остров Матуа — небольшой, площадью 52 км², уединенный остров в центральной части архипелага Курильских островов (см. рис. 1). Он находится на расстоянии около 400 км от полуострова Камчатка, более 700 км — от острова Хоккайдо, 88 и 28 км — от ближайших островов архипелага Шиадокотан и Расшуа (соответственно). В период Второй мировой войны на острове Матуа находился многотысячный гарнизон японских войск, подвергавшийся в 1943–1945 годах бомбардировкам американской авиации [12]. После войны на нем располагалось небольшое количество советских/российских военных и пограничников. С 2000 года остров необитаем.

Остров имеет длину около 12 км, ширину до 6 км. Его северо-западную, расширенную, половину занимает активный вулкан Пик Сарычева высотой 1446 м. Его юго-восточный склон является длинным и пологим, сложенным древними лавовыми потоками. Возраст этих лав предположительно составляет более 1000 лет, они полностью покрыты стланиками и лугами. Юго-восточная окраина острова состоит из комплекса низких древних террас.

Согласно современным геологическим данным остров Матуа находится в длительной (по крайней мере, с позднего плейстоцена) изоляции от других участков суши [2]. Генезис его рельефа и активность вулкана до середины XX



Рис. 1. Остров Матуа 2 августа 2009 года (фото со спутника Quickbird 2)

века кратко рассмотрены в работе Г.С. Горшкова [3]. Согласно результатам последних исследований [1] современный активный вулкан Пик Сарычева сформировался около 400–500 лет назад. Интенсивный вулканизм в значительной мере определяет природу острова. За последнее столетие существенные и особо сильные извержения произошли в 1928, 1930, 1946, 1976 и 2009 годах. К крупнейшим за исторический период относятся извержения 1760 (предположительно), 1946 и 2009 годов. По своему характеру извержения этого вулкана являются эксплозивными, часто эффузивно-эксплозивными. Их продукты — андезибазальты. Важнейшим результатом сильных эксплозивных извержений было образование пирокластических потоков, мощные отложения которых вскрываются на побережьях острова. Судя по разрезу почвенно-пирокластического чехла в удаленной от вулкана юго-восточной части Матуа [16], его экосистемы время от времени подвергались особо мощным пеплопадам. Последняя катастрофа такого рода была, вероятно, в начале 1760-х годов.

Для этого острова характерен аномально холодный (для широты 48°) климат Северных Курил, преобладание облачности и частых туманов, постоянные и сильные ветры [13]. Хотя среднемесячная температура января равна лишь минус 6,3 °С, средняя температура наиболее теплого месяца (августа) — всего плюс 10,9 °С.

Растительность острова Матуа до извержения вулкана Пик Сарычева 2009 года

Растительность Матуа по составу и структуре типична для Северных Курил [6], но выражена в обедненном, ре-

дуцированном варианте. Растительный покров острова состоит из субальпийского ольхового стланика, лугов, верещатников и несомкнутых группировок растений на вулканических отложениях [4, 9].

По дистанционным данным (спутниковым снимкам ASTER/TERRA) были определены верхние пределы наличия растительности до извержения 2009 года.

Травяно-кустарничковый (обычно разреженный) покров достигал на южном склоне отметок 900 м, а на северо-восточном и юго-западном — около 350 м. Сплошные заросли ольховника достигали 500 м на юго-восточном склоне. После извержения здесь произошло снижение этой границы до 400 м.

Большая часть склонов в юго-восточной половине острова в пределах высотных отметок 100–700 м была занята древними (имеющими возраст предположительно более 1000 лет) лавовыми потоками. На них располагались луга и главным образом стланики. Последние были представлены преимущественно ольховником с некоторым участием кустарниковой рябины. Заросли ольховника на склонах в основном были сомкнуты, высота их в благоприятных условиях достигала 4 м, диаметр основания стволов — 15–20 см.

Размеры зарослей в неблагоприятных экотопах (на побережье, приморских террасах, на верхнем пределе распространения) в основном были менее крупными (высотой 1–2 м, с диаметром стволов в основании около 5–10 см) и не всегда сомкнутыми. Почвы были в основном примитивными, фрагментарно выраженными на отложениях тефры.

Выше пояса стлаников располагалась кайма горных лугов, преимуще-

ственно несомкнутых, расположенных на скелетных почвах, сформированных грубым пирокластическим материалом (лапилли, крупный песок).

Извержение вулкана Пик Сарычева в июне 2009 года

В июне 2009 года на Матуа произошло очень крупное извержение вулкана Пик Сарычева, в ходе которого преимущественно пирокластическими потоками и волнами, а также лавовыми потоками и лахарами были уничтожены экосистемы северо-западной половины острова на площади около 25–30 км² [15]. Влияние вулканизма, в том числе последнего извержения 2009 года, на растительный покров острова рассмотрено в недавно опубликованных статьях [4, 5, 7, 8].

Основные события мощного эффузивно-эксплозивного извержения вулкана Пик Сарычева произошли 12–15 июня 2009 года. В ходе катаклизма, по оценке авторов [7], было извергнуто около 200 млн м³ вулканитов. Коэффициент эксплозивности составил 0,90–0,95. По оценке сахалинских вулканологов [10, 19], было извергнуто более 400 млн м³ пирокластического материала. Основную часть (более 1/2) извергнутого материала составили отложения пирокластических потоков. Эти потоки с сопровождающими их пирокластическими волнами, а также отложения тефры превратили конус вулкана в вулканическую пустыню [15]. Наиболее интенсивно (по объему продуктов и длине прохождения) пирокластические потоки низвергались на западные и северо-восточные склоны вулкана. Отложения пирокластических потоков (и, вероятно, лахаров) внедрились в море, образовав новые участки суши (см. рис. 1).

Фотографии участников экспедиций 2009 года показали, что почти все склоны вулкана были перекрыты раскаленными пирокластическими отложениями, которые обильно парили на побережье. Потоки сопровождалась пирокластическими волнами. И если потоки двигались по понижениям рельефа, то волны перемещались по любым поверхностям, включая возвышенные.

Пирокластические потоки полностью погребли растительность на склонах вулкана, тогда как газово-песчаные волны обуглили и ободрали стволы ольховника, оставив на ряде склонов обширные массивы мертвых зарослей.

Лавовые потоки сошли на северо-восточном и северном склонах. Северо-восточный поток закончил свое продвижение на высоте около 220 м, а северный остановился на высоте 430 м. Ширина потоков составляла около 100–150 м, длина — около 2,1 и 2,4 км (в горизонтальной проекции), площадь

излияний — 0,8 км² [8]. Пеплопад умеренной силы вне конуса был небольшим: мощность пепловых отложений составила от 1–2 см на юго-восточной окраине острова до 3–5 см на склоне вулкана (на высоте 600 м). Основная масса тефры, по-видимому, выпала за пределами острова.

Снеговой покров на вулкане Пик Сарычева

Для климата острова Матуа характерно высокое количество осадков — 1223 мм/год [13]. По метеоданным, полученным на приморской террасе, до половины осадков выпадает в виде снега (в горах их количество, очевидно, выше).

Судя по космоснимкам разных лет, снеговой покров на острове остается сомкнутым (сплошным) до конца первой декады апреля. В первой декаде мая он покрывает до 1/4–1/3 территории острова, в том числе почти весь конус вулкана, спускаясь с него огромными снежниками до берега моря. В весенний период снеговой покров наиболее мощно выражен, а в июне — июле продолжает оставаться в виде снежников на склонах юго-восточной половины конуса (а не северной, как можно было бы ожидать). Это может быть связано как с более мощной аккумуляцией осадков в холодный период с океанской стороны, так и с пониженным темпом стаивания снегового покрова в теплый период (также из-за более сильного охлаждающего эффекта океана). Существенную роль может играть и специфика рельефа: в северо-западной половине конуса преобладает слаборасчлененный аккумулятивный рельеф молодого вулкана Пик Сарычева и отсутствуют глубокие отрицательные формы, тогда как в юго-восточной половине, на примыкающих к конусу склонах позднеплейстоценового-голоценового вулкана Матуа, выражен денудационный рельеф с глубокими отрицательными формами. В таких формах снежники могут сохраняться до августа на относительно небольшой высоте — до 500 м.

К началу извержения (12 июня 2009 года) природа острова находилась в фазе перехода от весны (на склонах вулкана) к лету (у подножия вулкана). Космоснимки показали, что 9 мая средняя и верхняя части конуса вулкана Пик Сарычева были полностью покрыты снегом, снежники по распадкам спускались до уровня моря. 20 мая на подножиях вулкана снег сошел, но растительности не началась, общий цвет растительности был бурым. 31 мая еще были мощные снежники на конусе, протяженность крупнейших из них достигала 2 км. 6 июня на конусе вулкана располагались крупные снежники протяженностью в сотни метров — они были приурочены к депрессиям на

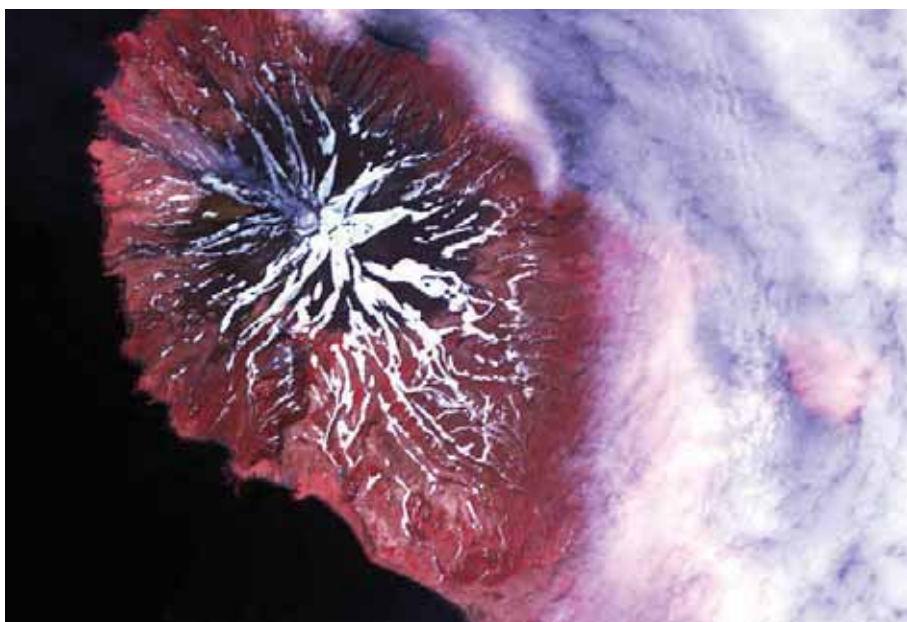


Рис. 2. Снеговой покров на острове Матуа 31 мая 2009 года (фрагмент фото со спутника Aster/Terra)

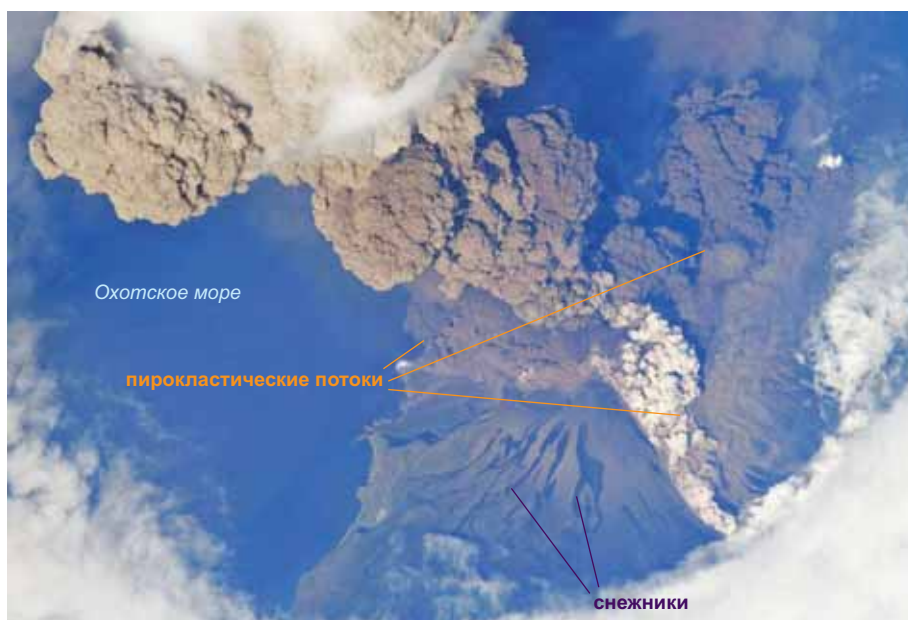


Рис. 3. Извержение вулкана Пик Сарычева. Эруптивный столб и сходящие пирокластические потоки (фрагмент фото с борта МКС 12 июня 2009 года)

склонах. Позже огромные размеры этих снежников сыграли важную роль в формировании наиболее мощных лахаров.

Судя по спутниковому снимку, сделанному 31 мая 2009 г. (рис. 2), перед извержением до 3/4 снегового покрова вулкана располагалось на склонах его юго-восточной половины. Ширина снежников достигала 400 м, длина — 2 км, а в одном случае — 3 км (в горизонтальной проекции).

Благодаря спутниковым снимкам можно установить, какие снежники находились в зонах питания лахаров, и оценить объем запасенной в них воды. Форма снежников зависит только от рельефа и не меняется, пока не происходят его радикальные изменения. Так, судя по архивному аэрофотосним-

ку (любезно предоставленному автору Е.М. Верещагой), который был сделан с американского бомбардировщика во второй половине мая 1944 года, за 66 лет форма снежников на южном склоне вулкана Пик Сарычева не изменилась, несмотря на мощные извержения 1946 и 2009 годов. Ситуации 13–15 июня 2009 года приблизительно соответствует снимок Earth Observing-1 (EO-1) от 11 июня 2010 года [18], по которому автором и были проведены измерения размеров, площадей и абсолютных высот снежников (с помощью сервиса Google Earth).

Благодаря имеющимся космоснимкам были оценены запасы снега и фирна в зоне питания и частично в зоне транзита. Мощный снежник, находившийся в зоне питания лахара на



Рис. 4. Участок (на высоте 450–550 м), по которому сошли пирокластические потоки (видна их нижняя граница) и пирокластические волны. Прохождение волн маркируется мертвым стлаником. В верхней части фотографии видна долина, по которой прошел лахар



Рис. 5. Нижняя часть шлакового пирокластического потока (фрагмент территории, показанной на рис. 4)

тефры: снизу вверх цвет склонов меняется от серо-зеленого (зеленый цвет дала начавшая вегетацию растительность, «припудренная» тефрой) до серо-коричневого. Таким образом, снежники еще не подверглись воздействию пирокластических потоков. Однако на том же снимке видно, что потоки уже сходят — их можно насчитать несколько. По восточному склону, где в рельефе выражена наиболее крупная каверна (видна к востоку от кратера на рис. 2), заполненная крупнейшим снежником, сходит мощнейший пирокластический поток, испаряющий снег, — в результате видна огромная пеплово-газово-паровая туча, стоящая над потоком (преобладание водяного пара придало ей почти белый цвет) (см. рис. 3). Одновременно в юго-западном секторе клубящееся облако над потоком имело более характерный для данного извержения серо-коричневый цвет. Судя по хронологии активности и оценке интенсивности (высоте эруптивных столбов), реконструированным по спутниковым данным [19], пирокластические потоки и сопутствующие им пирокластические волны, образовавшие наиболее крупный лахар, с высокой степенью вероятности сошли 13–15 июня.

Полевые наблюдения показали, что фронтальные части шлаковых пирокластических потоков, сформированных окатанными темными андезитобазальтовыми валунами, узкими полосами достигли высоты 450 м, где они перекрыли снежники на склоне и в русле. Пирокластические волны широкими полосами прошли по прилегающим склонам — это можно установить по погибшим зарослям ольховника и мало мощным (5–20 см) отложениям волн (рис. 4, 5). Наиболее низко расположенный след пирокластической волны зафиксирован на склоне борта в 15 м от русла на высоте 390 м (рис. 6). Мощное термическое воздействие волн и отложений пирокластических потоков на снеговой покров вызвало бурное и масштабное таяние снега в высотном интервале 400–1100 м. Вероятно, ситуация была усугублена усиленным протаиванием снега (и повышением содержания воды в нем) вследствие перекрытия снега тефрой в начальный период извержения до формирования пирокластических потоков и волн. Насыщение свежотложенного пирокластического материала влагой до определенного предела спровоцировало «срыв» этой массы со склона. Движение грязевого потока в зоне питания и верхней части зоны транзита происходило с непрерывным увеличением объема и скорости потока, а также содержания твердого вещества в водогрязекаменной смеси. Имеющиеся данные не позволяют установить, были ли снег единовременно растоплен пирокластическим потоком или их серией, могли ли глыбы льда, фирна или

высоте 600–1100 м, имел средние длину и ширину 1500 и 150 м соответственно. Допустив (на основании опыта полевых маршрутов), что средняя мощность снегового покрова составляла 2 м, получим объем снежника $450\,000\text{ м}^3$, а с учетом крутизны склона (20°) — $480\,000\text{ м}^3$. Кроме того, существенный запас снега находился в русле верхней части зоны транзита (300–600 м) — около $210\,000\text{ м}^3$. Таким образом, суммарный запас снега в зоне схода данного лахара к началу извержения был около $0,7\text{ млн м}^3$. При высокой или максимальной плотности тающего снега $0,60\text{--}0,75\text{ т/м}^3$ запас воды в этой зоне мог достигать $0,4\text{--}0,5\text{ млн м}^3$.

Формирование лахаров

На уникальных снимках извержения вулкана Пик Сарычева с борта Международной космической станции (МКС) 12 июня 2009 года снежники — темные вытянутые контуры — ясно видны на юго-восточном склоне (рис. 3) [20]. Снежник, давший начало наиболее крупному лахару, располагается на рис. 3 между стрелками. Темный, почти черный тон объясняется тем, что поверхность снега была перекрыта тефрой (по-видимому, темно-серого цвета, судя по наблюдениям очевидцев летом 2009 года), которая увлажнилась от тающего снега. Прилегающие склоны покрыты умеренным количеством

просто нарастающие массы снега из этого снежника быть увлечены вниз образовавшимся лахаром, какова была температура движущейся массы.

Поток перенес и отложил оценочно до 0,20–0,25 млн м³ твердого материала, преимущественно представленного слабосвязанным шлаком, мелкоземом и мелкими валунами (рис. 7). Мощность отложений составила около 1 м в зоне аккумуляции и до 2–3 м в узкой осевой части русла в зоне транзита (см. таблицу). Основная масса материала лахара отложилась в зоне аккумуляции (рис. 8).

Три других обследованных лахара были небольшими — протяженностью в зоне транзита и аккумуляции не более 2 км. Один из них показан на рис. 1 (верхней стрелкой) и на рис. 9. В его русле видны отложения шлакового пирокластического потока, который трансформировался в водогазешлаковый лахар (длина его в поясе ольховника составила около 1700 м). По бортам русла расположены полосы ободранных (без коры и частью без ветвей) побегов ольховника, резко отличающиеся белой ошкуренной древесиной от коричневатых-серых стволов и ветвей усохшего ольховника, почти полностью сохранивших кору. Небольшой конус выноса этого лахара не снес заросли ольховника — маломощные отложения растеклись под их пологом.

Были ли другие крупные лахары в результате извержения 2009 года? Вероятно, были: на склонах в юго-западном и восточном секторах вулкана до извержения существовали мощные снежники в отрицательных формах рельефа. Так, прохождение пирокластического потока по снежнику вызвало видимое на космическом фото (см. рис. 3) мощное образование пара. В дальнейшем, однако, по этим ложам многократно сходили огромные пирокластические потоки, скрывшие отложения лахаров.

Особенности прохождения самого крупного лахара

Сформировавшаяся селевая масса самого крупного лахара состояла, очевидно, как из свежих вулканических продуктов (тефры, отложений пирокластических потоков и волн), так и из ранее извергнутых вулкаников, покрывавших склоны конуса, а также находящихся в зоне транзита. В зоне питания и верхней зоне транзита, где угол падения превышал 15°, лахар разогнался до большой скорости, что увеличило его разрушительную силу. По данным, полученным при изучении последствий схода лахара со склонов вулкана Невадо-дель-Руис (Колумбия) в 1985 году, поток лахара разогнался до скорости 60 км/ч [17]. Возможно, близкие значения были достигнуты и в рассматриваемом случае, судя по по-



Рис. 6. Нижний предел прохождения пирокластических волн (высота 390 м):
1 — прирусловая часть, перекрытая отложениями лахара, заросли стланика содраны;
2 — кайма погибших и ошкуренных лахаром стволов ольховника;
3 — мертвые заросли ольховника на склоне с неповрежденной корой и тонкими ветвями, погибшие в результате воздействия пирокластических волн;
4 — живые заросли ольховника, уцелевшие с «теновой» по отношению к движению пирокластических волн стороны холма

следствиям. Так, в средней части зоны транзита на высоте 240–190 м лахар, меняя вектор движения из-за поворотов врезанного русла, несколько раз пересекал склоны высотой до 10–15 м. Масса потока сдирала рыхлый грунт, почвенный и растительный покровы, обнажая местами склоны до скальных (лавовых) выходов. Подвергшиеся воздействию «ободранные» склоны и де-

формированные остатки древесной растительности (состоявшие здесь почти исключительно из зарослей ольхового стланика), являются четким индикатором интенсивности воздействия лахара. В норме саблевидно изогнутые ветви-стволы ольховника, достигавшие здесь 4 м в высоту и 10–15 см в диаметре оснований стволов, наклонены вниз по склону. После прохождения



Рис. 7. Отложения лахара в зоне транзита. Прибор лежит на горизонтальной поверхности, ниже прибора — часть вертикального разреза



Рис. 8. Зона аккумуляции лахара (верхняя часть)



Рис. 9. Стволы стланика, обточенные лахаром и полупогребенные его отложениями



Рис. 10. Лахар содрал растительный и почвенный покров на древнем лавовом потоке

лахара ветви ошкурены, их древесина абрадирована, они все единообразно повернуты по течению потока. Отдельные ветви, основания которых полупогребены отложениями по краям русла, обточены водогрязевым потоком так, что от них остались лишь короткие терминальные части, напоминающие тонкими уплощенными верхушками лопасти деревянного пропеллера (рис. 10).

До извержения растительный покров юго-восточного склона приблизительно до высоты 500 м был покрыт стланиками, местами с участками горных лугов. Путь лахара в зоне транзита прошел по старому заросшему руслу, расположенному между двух древних лавовых потоков, возраст которых, по-видимому, существенно превышает 1 тыс. лет. Эти потоки полностью (в зоне прохождения лахара) заросли ольховником. На спутниковых снимках, выполненных до извержения 2009 года, видно, что в средней и нижней зонах транзита стланиковый покров полностью смыкался и расположение русла практически не просматривалось. Е.М. Верещага, руководитель краеведческой экспедиции, работающей на острове Матуа с 2003 года, рассказал, что до извержения 2009 года русло было полностью задерновано, его склоны и днище были покрыты сомкнутым стлаником, который при подъеме на вулкан местами приходилось прорубать. Интересно, что в период Второй мировой войны долина этого ручья, как и другие укромные лощины в юго-восточной части острова, использовалась японцами. Лахар вскрыл и вынес в русло многочисленные предметы их быта (пустые бутылки, посуду, обувь и др.). Возможно, здесь даже проходила дорога наверх, судя по найденному колесу. В стенке борта, выполненного рыхлыми отложениями, лахар вскрыл входы в убежища японцев от воздушных налетов (так называемые «лисий норы»).

В верхней, «горной», части зоны транзита высота заплесков не превышала 3–6 м над современным дном русла (которое, по-видимому, перекрыто отложениями лахара мощностью до 2–3 м). В местах поворотов русла высота заплесков взлетала до 10–15 м. В одном из таких мест поток после поворота пошел не по руслу, а по инерции ударил «в лоб» лавовой гряде, в результате чего частично ободрал ее склон до лавы, а частично перекатился через ее верх (поднявшись более чем на 10 м), оставив ободренные стволы ольховника (рис. 11). При этом в месте контакта лахара с лавовой грядой основание соседнего левого борта долины практически не было задето ударом, судя по целым зарослям ольховника, спускающимся к самому руслу. Перекатившись через лавовую гряду, поток нанес далее и ниже удар по про-

Некоторые характеристики наиболее крупного лахара				
Характеристика лахара	Зона			
	питания	транзита верхняя	транзита нижняя	аккумуляции
Высотный интервал, м	600–1 100	300–600	110–300	50–110
Средняя крутизна склона, град.	20	11,5	5,0	3,5
Протяженность зоны прохождения лахара в горизонтальной проекции, км	1,4	1,5	1,6	1,5
Средняя ширина зоны прохождения лахара в горизонтальной проекции, м	160	25	35	100
Площадь зоны прохождения лахара, га	24	3,75	5,25	10
Оцененная мощность отложений лахара, м	0,1	2–3	1–2	1
Оцененный объем отложений лахара, м ³	24 000	30 000	45 000	100 000



Рис. 11. После обтекания лавового потока (изображенного на рис. 10) лахар ударил в противоположный борт распадка, содрвав растительный и почвенный покров, и обнажив скрытые «лисьи норы». Поток прошел и по верхней части склона, погубив полосу ольховника. Высота обнажения около 10 м



Рис. 12. Небольшой лахар, сошедший по юго-восточному склону (показан верхней стрелкой на рис. 1)

тивоположному борту, ободрав до грунта высокий, около 10 м, склон (на котором обнажились входы в «лисьи норы» японцев) и погубив стланик на вершине этой террасы (рис. 12). Интересно, что эти преграды отнюдь не поглотили огромную кинетическую энергию лахара: сотней метров ниже, после некоторого поворота русла, поток снова взлетел по склону борта высотой около 8 м на террасу и пронесся по ней, оставив мертвые заросли стланика.

Самый крупный лахар уничтожил стланиковую и частично луговую растительность в русле ручья и на пологой равнине, где растеклись веером отложения конуса выноса потока. Общая площадь территории, на которой погибла растительность в результате схода этого лахара, составила около 0,2 км². В целом от воздействия всех четырех обследованных лахаров эта площадь составила примерно 0,3 км². Для сравнения: два лавовых потока 2009 года перекрыли территорию размером 0,8 км² на склонах вулкана, но площадь участков с пострадавшей растительностью была невелика: заросли стланика были уничтожены лишь на площади 3–4 га. Основные масштабы поражения растительного покрова на острове Матуа были вызваны пирокластическими потоками и волнами: в пределах 25 км² северо-западной половины острова вся растительность была уничтожена. Надо отметить, что растительный покров (разной степени сомкнутости) на склонах вулкана до извержения 2009 года занимал не более половины этой территории.

Наиболее масштабно действующим фактором поражения в ходе июньского извержения были раскаленные пирокластические волны. Они уничтожили около 5 км² зарослей стлаников, а также травяно-кустарничковую растительность.

Через 1 год и 2 месяца после извержения в русле большого лахара

можно было обнаружить единичные растения. Иногда они были перенесены с кусками дернины, сорванными лахаром со склонов. Довольно много можно было увидеть крупных корневищ папоротника (щитовника расширенного), который является доминантом травяного яруса под пологом растительных сообществ зрелого ольховника. Выванные из почвы со склонов долины корневища были перенесены потоком; многие из них оправились в неблагоприятных условиях безжизненного русла и выпустили листья (вайи). Кроме щитовника сравнительно часто можно было увидеть побеги других травянистых растений — вейника и лабазника камчатского (шеламайника). Спорадически встречались и другие небольшие растения — анафалес жемчужный, остролодочник вдавленный, мелкий двулепестник альпийский, всходы ольховника и др.

Восстановление растительного покрова в зоне прохождения лахаров займет, по-видимому, не более 50–70 лет, поскольку в этот период новые нарушения от прохождения мощных водных или водогазовых потоков маловероятны (мощные извержения, подобные событию 2009 года, происходят на острове Матуа не чаще, чем один раз в 50–100 лет, а выброс вулканических ориентирован главным образом на склоны северо-западной половины вулкана). Быстрорастущий ольховник заселит основную часть поврежденных участков. Однако эрозионные процессы в зоне нарушений (в русле и на «ободранных» склонах) могут замедлить процессы восстановления.

Заключение

Постоянно и мощно действующий эксплозивный и эффузивный вулканизм глубоко изменил природный комплекс острова Матуа. Кроме снижения верхнего предела распространения растительного покрова наблюдается постоянно существующая асимметрия поясности растительности. Заметно снижено разнообразие растительности и флоры.

Природный комплекс вулкана Пик Сарычева на острове Матуа являет собой редкий пример крайне динамичной экосистемы. Растительность здесь регулярно испытывает поражения разного масштаба и глубины, но в определенной мере адаптировалась к этим катастрофам, достаточно быстро восстанавливая сомкнутый покров на значительной части острова.

Мощное извержение вулкана Пик Сарычева в июне 2009 года стало катастрофой для экосистем острова. В ходе этого извержения преимущественно пирокластическими потоками и волнами, а также лавовыми потоками

и лахарами был уничтожен растительный покров северо-западной половины острова Матуа в пределах территории площадью около 25–30 км².

Из пяти крупных извержений вулканов (Алаид, 1972, 1981 годы; Тятя, 1973 год; Чикурачки, 1986 год; Пик Сарычева, 2009 год) Курильских островов, произошедших за последние 40 лет, последнее извержение потенциально было самым опасным из-за массового и масштабного схода пирокластических потоков и волн.

Воздействие раскаленного пирокластического материала на остатки снегового покрова на склонах вулкана обусловило формирование серии ла-

харов — разрушительных вулканогенных селей. Самый крупный лахар достиг юго-восточной низменной части острова, издавна посещаемой людьми. Этот фактор потенциальной угрозы надо учитывать при возможной в дальнейшем хозяйственной деятельности как на острове Матуа, так и в других вулканических районах Курильских островов.

Данное исследование выполнялось при поддержке РФФИ (грантов 10-05-01015, 11-05-98604). Автор искренне признателен за содействие в проведении экспедиционных работ на острове Матуа Е.М. Верецаге и И.В. Витер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арсланов Х.А., Мелекесцев И.В., Разжигаяева Н.Г. и др. Возраст почвенно-пирокластического чехла и хронология вулканической активности на о. Матуа (центральные Курилы) в голоцене // Квартер во всем его многообразии. Фундаментальные проблемы, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: материалы 7-го Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода, г. Апатиты, 12–17 сентября 2011 г. Апатиты — СПб., 2011. Т. 1. С. 44–46.
2. Безверхний В.Л., Плетнев С.П., Набиуллин А.А. Очерк геологического строения и развития Курильской островодужной системы и смежных территорий // Растительный и животный мир Курильских островов. Владивосток: Дальнаука, 2002. С. 9–22.
3. Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 288 с.
4. Гришин С.Ю. Воздействие вулканических извержений на растительный покров острова Матуа (Курильские острова) // Известия РГО. 2011. № 3. С. 79–89.
5. Гришин С.Ю. Воздействие на окружающую среду мощного извержения вулкана Пик Сарычева (Курильские острова, 2009 г.) по данным космической съемки // Исследование Земли из космоса. 2011. № 2. С. 92–96.
6. Гришин С.Ю. География растительного покрова Курильских островов (к карте растительности архипелага) // Известия РГО. 2008. № 5. С. 8–15.
7. Гришин С.Ю., Гирина О.А., Верецага Е.М., Витер И.В. Мощное извержение вулкана Пик Сарычева (Курильские острова, 2009 г.) и его воздействие на растительный покров // Вестник ДВО РАН. 2010. № 3. С. 40–50.
8. Гришин С.Ю., Мелекесцев И.В. Лавовые потоки (извержение 2009 г.) вулкана Пик Сарычева (центральные Курилы) // Вестник КРАУНЦ. 2010. № 1. С. 232–239. URL: http://www.kscnet.ru/kraesc/2010/2010_15/art19.pdf.
9. Гришин С.Ю., Терехина Н.В. Растительный покров острова Матуа (Курильские острова) // Комаровские чтения. Владивосток: Дальнаука, 2012. Вып. 59. С. 188–229.
10. Левин Б.В., Рыбин А.В., Разжигаяева Н.Г. и др. Комплексная экспедиция «Вулкан Сарычева-2009» (Курильские острова) // Вестник ДВО РАН. 2009. № 6. С. 98–104.
11. Новейший и современный вулканизм на территории России. М.: Наука, 2005. 604 с.
12. Смышляев А.А. К тайнам туманных Курил. Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2006. 240 с.
13. Справочник по климату СССР. Вып. 34. Ч. 2. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 200 с.
14. Черноморец С.С., Сейнова И.Б. Селевые потоки на вулканах: учебное пособие. М.: Издательство УНЦ ДО, МГУ, 2010. 72 с.
15. Eruption of Sarychev Peak, Kuril Islands // Earth Observatory. NASA, 2009. URL: <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=39120>.
16. Fitzhugh B., Shubin V.O., Tezuka K. et al. Archaeology in the Kuril Islands: Advances in the study of human paleobiogeography and northwest pacific prehistory // Arctic Anthropology. 2002. V. 39. P. 69–94.
17. Pierson T.C., Janda R.J., Thouret J.-C., Borrero C.A. Perturbation and melting of snow and ice by the 13 November 1985 eruption of Nevado del Ruiz, Colombia, and consequent mobilization, flow and deposition of lahars // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 1990. V. 41. № 1–4. P. 17–66.
18. Plume from Sarychev Peak, Kuril Islands // Earth Observatory. NASA, 2010. URL: <http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=44283>.
19. Rybin A., Chibisova M., Webley P. et al. Satellite and ground observations of the June 2009 eruption of Sarychev Peak volcano, Matua Island, Central Kuriles // Bulletin of Volcanology. 2011. V. 73. № 9. P. 377–1392.
20. Sarychev Peak Eruption, Kuril Islands // Earth Observatory. NASA, 2009. URL: <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=38985>.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В БАССЕЙНАХ ГОРНЫХ РЕК

AN AUTOMATED SYSTEM OF DATA ACQUISITION AND TRANSMISSION FOR THE PURPOSES OF ENVIRONMENTAL PARAMETERS MONITORING IN MOUNTAIN RIVER BASINS

ЗАМАЙ В.И.

Заведующий лабораторией телекоммуникационных систем
Института автоматики и информационных технологий
Национальной академии наук Киргизской Республики (НАН КР),
vzamai@mail.ru

ДОБРОВОЛЬСКИЙ Н.С.

Младший научный сотрудник Института автоматики и информационных технологий НАН КР, akdkg@mail.ru

ZAMAI V.I.

The chief of the Telecommunication Systems Laboratory of the Institute of Automatics and Information Technologies of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan, vzamai@mail.ru

DOBROVOLSKY N.S.

A junior staff scientist of the Institute of Automatics and Information Technologies of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan, akdkg@mail.ru

Ключевые слова: селевая опасность; система мониторинга; параметры окружающей среды; система оповещения.

Аннотация: в статье рассматриваются принципы построения системы сбора и передачи данных для целей мониторинга параметров окружающей среды, влияющих на формирование селевой и паводковой опасности в бассейнах горных рек. В качестве практического примера реализации этих принципов описывается система предупреждения о селевой опасности при выпадении ливневых осадков в бассейнах горных рек или при прорывах моренных озер ледников Аксай, Ала-Арча и Адыгене, расположенных в зоне Киргизского хребта. Рассматривается состав технических средств этой системы и предварительные результаты ее внедрения.

Key words: debris flow hazard; monitoring system; environmental parameters; warning system.

Abstract: the article considers the principles of constructing an automated system of data acquisition and transmission for the purposes of monitoring of environmental parameters that influence on forming debris flow and high water hazards in mountain river basins. The authors describe the system of warning about debris flow hazards during storm rainfalls in mountain river basins or outburst of moraine lakes of the Aksay, Ala-Archa and Adygene glaciers located in the area of the Kyrgyz Range (as a practical example of realization of the principles). The composition of technical facilities of the system and preliminary results of its implementation are considered.

Введение

Мониторинг окружающей среды представляет собой комплексную систему наблюдений за ее состоянием, оценки и прогноза ее изменений под воздействием природных и антропогенных факторов. Основные цели этого мониторинга состоят в получении своевременной и достоверной информации, позволяющей оценить показатели состояния среды обитания человека, выявить причины изменения этих показателей и оценить последствия этих изменений [3]. Конечной его целью является прогнозирование негативных ситуаций и определение мер по их исправлению до того, как будет нанесен ущерб.

Территория Киргизии в значительной мере подвержена воздействию селевых и паводковых процессов. В среднем согласно данным Министерства чрезвычайных ситуаций Киргизской Республики (МЧС КР) здесь ежегодно возникает около 40 чрезвычайных ситуаций (ЧС), связанных с селями, наводнениями и паводками, что составляет 30–35% от всех ЧС природного характера.

В республике 95% всех населенных пунктов находится на берегах или конусах выноса рек или временных водотоков. Селевым и паводковым проявлениям подвергаются населенные пункты, транспортные коммуникации, сельхозугодия, гидротехнические, ирригационные сооружения и другие объекты.

На территории Киргизии насчитывается около 3900 селепаводковых бассейнов рек. Ввиду своей исключительной распространенности сели и паводки по наносимому суммарному ущербу (прямому и косвенному) находятся на первом месте среди опасных природных явлений в республике.

Прогнозирование и предупреждение селей и катастрофических паводков усложняются дефицитом оперативной информации о влияющих на них факторах ввиду недостатка данных об этих явлениях, имевших место в предшествующий период, а также по причине сокращения сетей гидрологического и геологического мониторинга.

После распада Советского Союза число метеорологических станций в Киргизии уменьшилось с 83 (в 1986 го-

ду) до 30 (в 2005 году), количество гидропостов для измерения стока рек за этот же период уменьшилось со 152 до 76. Наибольшее сокращение систематических наблюдений приходится на высокогорные территории, которые являются ключевыми водосборными бассейнами, так как обслуживание станций там является наиболее трудоемким и требует наибольшего вложения средств. Подобная ситуация сложилась практически во всех горных республиках постсоветского пространства.

Постановка задачи

В связи с вышесказанным весьма актуальны разработка и внедрение автоматизированных систем мониторинга (АСМ) параметров окружающей среды (ПОС), оказывающих существенное влияние на формирование селевой и паводковой опасности в бассейнах горных рек.

Современная система мониторинга и прогнозирования опасных природных событий и их последствий — это комплексная информационная система, которая должна включать:

- средства наблюдения за опасными явлениями (сенсорные сети);
- коммуникационные каналы и оборудование;
- базы данных и знаний, содержащие информацию о последствиях различных чрезвычайных ситуаций;
- средства автоматизированного доступа к информации;
- методы и алгоритмы обработки и идентификации информации;
- математические модели опасных явлений;
- данные о распределении и возможностях источников опасности;
- связанные между собой вычислительные ресурсы и многое другое.

Предлагаемая система сбора и передачи данных для целей мониторинга позволит создать электронную базу параметров окружающей среды в селеопасных зонах, а также оперативно оповещать о катастрофических природных явлениях, например о начале схода селя или катастрофического паводка. Накопление необходимого объема данных в перспективе позволит осуществлять оперативный прогноз развития катастрофических ситуаций [1].

Задачи распределенного сбора данных о параметрах окружающей среды в селеопасных природных зонах, создание общей базы данных ПОС и обеспечение возможности автоматизированного доступа к ним являются одними из важнейших и во многом опреде-

ляющих надежность и эффективность функционирования информационной системы мониторинга ПОС.

Поиск оптимального решения по организации информационных систем мониторинга природных катастроф на территориях со сложным горным рельефом является достаточно сложным и ставит целый ряд задач, одна из которых — организация надежной связи между удаленными объектами и пунктами приема информации. Проблемы их решения усугубляются тем, что в местах размещения периферийной аппаратуры нередки случаи вандализма со стороны местного населения или туристов, разрушающих дорогостоящие коммуникации, сооружения и оборудование без особых на то причин.

Все это необходимо учитывать при разработке и внедрении АСМ ПОС.

Разработка системы сбора и передачи данных

Очевидно, что при создании АСМ ПОС радиосвязь оказывается единственным приемлемым решением. Однако и здесь имеется много проблем. Необходимость выбора аппаратуры, частотного диапазона и мощности, обеспечивающих надежную связь, часто подталкивает разработчиков к использованию систем мобильной сотовой связи. Однако, как показала практика, подобное решение не всегда приводит к успеху, поскольку в условиях

сложного горного рельефа и удаленности точек контроля объекты мониторинга зачастую оказываются вне зоны доступной сотовой связи.

Для исключения зависимости функционирования системы от непредсказуемых внешних факторов в приемно-передающей аппаратуре предлагаемой АСМ ПОС используются автономные радиоканалы связи ISM-диапазона.

Предлагаемая АСМ ПОС соединяет в себе функции следующих систем: (1) распределенного мониторинга, обеспечивающей дистанционный сбор и предварительную обработку данных о параметрах окружающей среды горных территорий; (2) информационной, обеспечивающей долгосрочное хранение данных мониторинга и автоматизированный доступ к ним; (3) оповещения, обеспечивающей оперативное предупреждение о возникновении чрезвычайных ситуаций, например о селях и катастрофических паводках.

Эта система мониторинга позволяет осуществлять контроль изменений параметров окружающей среды горных территорий — уровней горных рек, осадков, температуры, влажности и др. Она функционирует в любых погодных условиях и включает разнообразные датчики:

- уровней водотоков,
- температуры/влажности почвы и воздуха,
- давления,
- осадков,

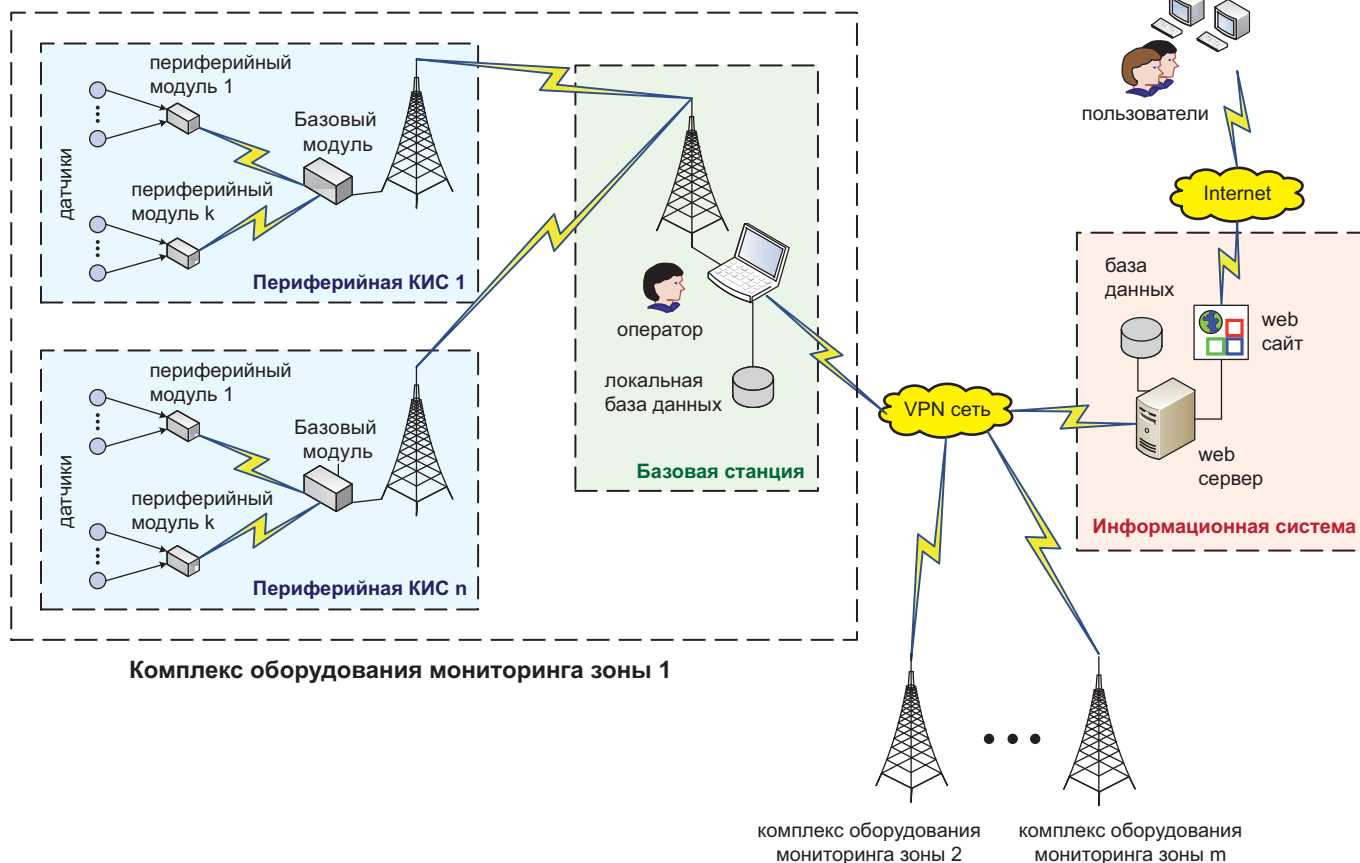


Рис. 1. Функциональная схема системы сбора и передачи данных

- уровня и характера естественных шумов,
- вибраций,
- скорости воздушного потока,
- движения (обнаружения в непосредственной близости от контролируемой станции движущихся объектов) и др.

Функции безопасности и «живучести» используемой аппаратуры обеспечиваются антивандальной подсистемой видеоконтроля работы периферийной контрольно-измерительной станции (КИС), которая позволяет решить основные проблемы безопасности функционирования и «вандалоустойчивости» всей системы мониторинга, касающиеся состояния среды, контроля оборудования, хищений, намеренных повреждений аппаратуры и др. Предлагаемая подсистема осуществляет передачу фото- или видеоизображения при возникновении шума или движения какого-либо объекта в радиусе 2–3 м. Ее «интеллект» выражается в возможности ведения выборочной видеозаписи: видеокамеры или фото-регистраторы, входящие в комплект системы, можно настроить на режим выборочного наблюдения — записи клипов только в те моменты, когда в непосредственной близости происходят какие-либо события. При возникновении опасной ситуации осуществляется оповещение оператора, а также предупреждение «вандала» о недопустимости противоправных действий путем передачи заранее записанного звукового сообщения через динамики.

В случае возникновения неисправности или при приближении значений параметров к критическим мониторинг позволяет оперативно принимать меры и таким образом предотвращать развитие нештатных ситуаций. В случае отклонений показателей от нормы оператору отправляется сообщение об этом.

Функциональная схема системы сбора и передачи данных для целей мониторинга представлена на рис. 1. Комплексы оборудования мониторинга зон 1, 2, ..., m (см. рис. 1) представляют собой программно-аппаратные комплексы, включающие базовую станцию и n периферийных КИС, содержащих базовый и периферийные модули, образующие сенсорную сеть стандарта IEEE 802.15.4. Базовая станция соединена с базовыми модулями КИС радиоканалом диапазона 433 МГц и протяженностью до 10 км. Базовый и периферийные модули КИС соединены радиоканалом сенсорной сети с диапазоном 2,4 ГГц и протяженностью до 500 м.

Датчики ПОС могут находиться в непосредственной близости к базовому модулю КИС либо на некотором удалении от него. В последнем случае

передача информации осуществляется по радиоканалу связи сенсорной сети.

Комплексы измерительного оборудования располагаются в зонах возможного возникновения природных катастрофических явлений и выполняют функции мониторинга параметров окружающей среды и оповещения о возникновении чрезвычайных ситуаций. На каждой базовой станции используется любое доступное для нее интернет-соединение, например HSDPA/UMTS/EDGE/GPRS, посредством которого комплексы оборудования для мониторинга различных природных зон объединены в единую виртуальную частную сеть VPN (Virtual Private Network) и передают данные на веб-сервер системы (см. рис. 1).

Веб-сервер, централизованная база данных мониторинга параметров окружающей среды и веб-сайт с веб-интерфейсом доступа к этим данным образуют систему, которая выполняет функции хранения этой информации и обеспечивает автоматизированный доступ к ней пользователей.

Базовые станции системы сбора и передачи данных дополнительно оснащены локальными базами данных (БД), в которых будут храниться все отчеты о тревогах, видеоклипы, графики температур, влажности, данные об измеренных уровнях водотоков и др. Локальная БД предусматривает хранение информации в течение нескольких дней, однако при отсутствии связи с централизованной БД веб-сервера данные сохраняются до появления связи. Это позволяет восстановить последовательность событий, происходящих на объектах мониторинга на любом отрезке времени.

Модули КИС реализуют режим энергосбережения, позволяющий устройству находиться в «спящем» состоянии практически все время. При поступлении новой информации либо во время очередного сеанса связи устройство активизируется, быстро передает данные и снова переходит в режим пониженного энергопотребления.

Автоматизированная система мониторинга параметров окружающей среды функционирует в трех основных режимах: (1) инициализации; (2) штатной работы; (3) аварийной ситуации.

Режим инициализации предшествует остальным двум и служит для начальной конфигурации системы, а также для ее реконфигурации в процессе работы в случае необходимости изменения состава ее оборудования. Начальная конфигурация реализуется при установке новой базовой станции (БС) — ее производит находящийся на этой станции оператор посредством своего интерфейса. Оператор задает количество КИС, входящих в состав данной БС, структуру сенсорной сети для каждой КИС, устанавливает номенклатуру датчиков, под-

ключаемых к периферийным модулям сенсорной сети КИС, задает измеряемую физическую величину, диапазон измерения и период опроса для каждого датчика ПОС. Затем оператор вводит необходимую информацию о данном комплексе оборудования: географические координаты базовой станции и всех КИС, а также краткое описание БС, КИС и датчиков мониторинга ПОС. Эта информация вносится в локальную базу данных БС. При завершении конфигурации и проверки работы данного комплекса оборудования информация о нем передается на веб-сервер системы мониторинга, заносится в централизованную базу данных и становится доступной для пользователей системы.

Процесс реконфигурации отличается тем, что описанные действия конфигурации производятся с действующим комплексом оборудования, в работу которого вносятся необходимые изменения.

Режим штатной работы является основным режимом функционирования АСМ ПОС. В этом режиме с заданной частотой опрашиваются датчики мониторинга ПОС. Данные мониторинга проходят предварительную обработку в блоке измерения периферийного модуля КИС и затем передаются в базовый модуль КИС по каналу связи сенсорной сети. С базового модуля КИС данные передаются на БС, где записываются в локальную БД, а затем передаются по VPN-сети в централизованную БД веб-сервера и становятся доступными пользователям посредством веб-страницы системы мониторинга.

Режим аварийной ситуации наступает в нескольких случаях — при детектировании природного катастрофического явления, например паводка, селя или оползня, при срабатывании антивандальной подсистемы и при отказе какого-либо технического компонента системы.

Задача детектирования природного катастрофического явления выполняется посредством комплексного подхода. Для этого периферийные КИС предусматривают возможность подключения специализированных дискретных датчиков (например, магнитоконтактных, вибрации и др.) природных катастрофических явлений. Эти датчики не имеют возможности измерения ПОС, и для них предусмотрено только два состояния — «включено» и «выключено». Они предназначены специально для детектирования природного катастрофического явления. Так, магнитоконтактные датчики в количестве не менее трех на контролируемый створ русла реки позволяют с большой долей надежности детектировать прохождение селя или катастрофического паводка.

В дополнение к специализированным датчикам природных катастрофических явлений предусмотрена возможность задания максимально допустимых значений измеряемого ПОС индивидуально для каждого датчика ПОС, например максимально допустимый уровень водотока в русле реки и др. Максимально допустимые значения ПОС задаются оператором в режиме инициализации.

При срабатывании одного из дискретных датчиков либо при превышении заданного ограничения для датчика ПОС информация об этом передается по радиоканалам связи на базовую станцию, где оператор, получивший информацию о возможном катастрофическом явлении, принимает решение о дальнейших действиях.

Срабатывание антивандальной подсистемы происходит при приближении к базовому модулю КИС человека либо крупного животного, которые активируют датчик движения. При срабатывании этого датчика производится автоматическая съемка приблившегося объекта посредством фото- или видеорегистратора, а также звуковое предупреждение посредством звуковоспроизводящего устройства антивандальной подсистемы. Отснятые кадры сохраняются в запоминающем устройстве базового модуля КИС и одновременно передаются на базовую станцию, где сохраняются в локальной базе данных и принимаются оператором.

Для обеспечения надежности функционирования системы мониторинга предусмотрен специальный алгоритм определения отказа одного или нескольких ее аппаратных компонентов. Он заключается в том, что базовая станция с заданной оператором периодичностью посылает запросы на подтверждение работоспособности базовым модулям КИС, которые, в свою очередь, передают этот запрос по сенсорной сети периферийным модулям КИС. Приняв запрос на подтверждение работоспособности, периферийные модули КИС формируют и передают ответ, подтверждающий их работоспособность, базовому модулю КИС, который передает ответ базовой станции. Если какой-либо модуль не подтвердит свою работоспособность, оператор получит сообщение о его возможной неисправности. Данный алгоритм обеспечивает возможность своевременного обнаружения и устранения возникшей неисправности.

Система оповещения

В качестве первого этапа практической реализации заложенных в АСМ ПОС принципов по заказу Киргизской комплексной гидрогеологической экспедиции Министерства природных ресурсов КР была разработана и внедре-

на система оповещения о возникновении и прохождения катастрофического паводка или селя в случае выпадения ливневых дождей в бассейнах горных рек или прорыва моренных озер ледников Аксай, Ала-Арча и Адыгене, расположенных в зоне Киргизского хребта и формирующих сток реки Ала-Арча [2].

Для разработки технической структуры и программно-аппаратных средств системы оповещения и для определения оптимальных мест установки периферийной аппаратуры необходимо знание основных характеристик и специфических особенностей контролируемого объекта.

Контролируемая зона, в которой происходит формирование катастрофических паводков и селей, включает бассейны рек Ала-Арча, Аксай и Адыгене.

Район, подверженный паводковой и селевой опасности, имеет типично горный рельеф, с узкими и глубокими ущельями. Склоны гор очень крутые, часто отвесные, с многочисленными осыпями и скалами. Климат района резко континентальный, характеризуется большой амплитудой колебаний суточных, месячных и годовых температур воздуха, неравномерным количеством выпадающих осадков.

Долина реки Ала-Арча с ее многочисленными притоками является одной из самых селеопасных на Северном Тянь-Шане. Формированию катастрофических паводков и селей в этой зоне весьма активно способствует целый ряд природных факторов: мощное оледенение, наличие высокогорных прорывоопасных озер, глубокая расчлененность рельефа, значительная крутизна склонов, большая высота водораздельных гребней и огромное количество рыхлообломочного материала, питающего селевые потоки. Поэтому весьма актуальными были и остаются проблемы безопасности территории Государственного природного парка «Ала-Арча» от действия катастрофических паводков и селей.

Ледники и снежники, а в летний период довольно частые дождевые осадки служат источниками питания рек. Это типичные горные реки (Ала-Арча, Адыгене, Аксай, Топ-Карагай и др.), которые в своем верхнем течении, несмотря на относительно небольшую глубину (0,4–0,6 м) и ширину (3–5 м), имеют бурное течение из-за больших уклонов русла. Водный режим этих рек отличается неравномерностью даже в течение суток. Так, при среднегодовом расходе воды р. Ала-Арчи 4,0–4,5 м³/с максимум может достигать 50 м³/с при выпадении осадков ливневого характера.

Водосборная площадь р. Ала-Арчи составляет 270 км², но основные запасы влаги сконцентрированы в ледни-

ках и многочисленных снежных вершинах хребтов.

Для большинства рек Ала-Арчинского бассейна характерен селевой режим. Например, катастрофический сел, прошедший 2 июня 1953 года по реке Адыгене, образовался от прорыва моренного озера в верховьях реки. Его расходы в устье достигли 400 м³/с. Не менее опасны и более часты сели на реке Аксай (в 1960–1963, 1965, 1969–1971 годах и др.). Их причина — опорожнение внутриледниковых емкостей. В результате этих селей на конусе выноса реки Аксай было уничтожено около 50 га леса, имелись человеческие жертвы.

По рекам Ала-Арча, Джинды-Суу, Топ-Карагай и Кашкасу сели сходят ежегодно, а на остальных притоках они бывают один раз в 3–7 лет, в основном от ливней.

Максимум облачности и осадков приходится на апрель–май. Среднегодовые температуры воздуха колеблются от 0,1 до 6,2 °С в зависимости от высоты местности. Зима довольно продолжительная. Продолжительность солнечного сияния зимой коротка и составляет 3–4 часа. Основное количество осадков выпадает в виде дождя и приходится на весенне-раннелетний и осенний периоды. Особенно обильные и продолжительные дожди наблюдаются в апреле и мае.

В связи с этим для выбора датчиков сигнализации прохождения селя/паводка и разработки принципов построения контролируемых станций (КС) необходимо знать диапазоны изменений параметров окружающей среды, а для их размещения в реальных условиях эксплуатации должны быть разработаны способы маскировки периферийной аппаратуры под окружающую среду. Защита периферийной аппаратуры от вандализма людей и случайного повреждения животными требует применения специальных покрытий, обеспечивающих ее маскировочную окраску и установку в малолюдных и труднодоступных местах.

Извилистый рельеф ущелий контролируемой зоны создает существенные трудности для прохождения аварийного радиосигнала, что затрудняет радиосвязь между центральной и контролируемыми станциями системы оповещения. Это требует соответствующего выбора частотного диапазона радиопередающей аппаратуры и применения специальных мер для обеспечения устойчивой радиосвязи.

Не менее важной является проблема обеспечения бесперебойного электропитания периферийной аппаратуры, в частности контролируемых станций, питающихся от аккумуляторных батарей. Поскольку подзарядка аккумуляторов осуществляется от фотоэлектрических солнечных панелей (ФСП), не-



Рис. 2. Схема размещения контролируемых станций (КС)



Рис. 4. Радиосенсор в каменном русле реки Аксай (место его установки обведено красной окружностью)

обходимо обеспечить максимальную инсоляцию ФСП как в течение дня, так и в течение всего селеопасного периода (с апреля по сентябрь). Поэтому установка КС с ФСП должна осуществляться с учетом этих требований. Одним из предпочтительных вариантов установки фотоэлектрической солнечной панели, проверенным на практике, можно считать ее размещение в верхней части кроны дерева (где есть такая возможность) с обеспечением при этом ее максимальной инсоляции.

В результате обследования возможных мест установки периферийной аппаратуры по трем селеопасным направлениям было принято решение по размещению контролируемых станций в соответствии со схемой, показанной на рис. 2. На рисунке 3 представлена

фотография места установки КС в ущелье Адыгене.

Проведенные исследования объекта позволили определить оптимальные места размещения периферийной аппаратуры — контролируемые станции и датчики-сенсоры прохождения катастрофического паводка/селя. Радиосенсоры-датчики (рис. 4) располагают-



Рис. 3. Контролируемая станция на объекте Адыгене

ся в прибрежной зоне на участках наиболее вероятного прохождения селя или катастрофического паводка на расстоянии 70–300 м от КС.

Электропитание периферийной аппаратуры контролируемых станций осуществляется от аккумуляторов, подзаряжаемых от солнечных панелей, при этом обеспечивается постоянный контроль напряжения элементов электропитания.

Заключение

Предлагаемая автоматизированная система сбора и передачи данных для целей мониторинга параметров окружающей среды в бассейнах горных рек в соответствии с требованиями патентного права обладает мировой новизной и может представлять собой новый инсталляционный продукт для Киргизии. Ее основные технические решения защищены патентами.

На примере работы опытного образца такой системы будут опробованы основные ее характеристики, технические решения, их достоинства и недостатки. По результатам натурных испытаний при наличии государственного заказа будет принято решение об инсталляции подобных систем в других регионах Киргизии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Великанова Л.И. Краткосрочное прогнозирование селевой опасности с применением нейросетевых технологий // Материалы Второй конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита», г. Москва, 17–19 октября 2012 г. М.: Изд-во МГУ, 2012.
2. Замай В.И., Ревтов А.Н. Система оповещения о селевой опасности в бассейне реки Ала-Арча // Электросвязь. 2010. № 10. С. 22–24.
3. Королев В.А. Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем: учебное пособие / под ред. В.Т. Трофимова. М.: КДУ, 2007. 416 с.



Журнал «Инженерная геология»

стал одним из наиболее востребованных печатных изданий в нашем профессиональном сообществе. Сотрудники редакции постоянно работают над дальнейшим повышением качества журнала. Все статьи проходят рецензирование членами редакционной коллегии и внешними рецензентами, научное и литературное редактирование. Вы, читатели, можете внести свой вклад в развитие журнала, присылая в редакцию свои статьи, подписываясь на «Инженерную геологию».

Тел./факс: +7 (495) 366-2684, 366-2095
E-mail: info@geomark.ru

ОПАСНЫЕ ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ДОЛИНЕ РЕКИ ЛЬКЕЗИ

DANGEROUS EXOGENIC PROCESSES IN THE LKEZY RIVER VALLEY

КАРАВАЕВ В.А.

Научный сотрудник Института географии РАН, к.г.н.,
г. Москва, vadkaravaev@rambler.ru

ВОСКОВА А.В.

Старший научный сотрудник Научно-исследовательского и проектного института
Генерального плана г. Москвы, к.г.н.,
г. Москва, avoskova@yandex.ru

ИСТОМИНА Е.А.

Старший научный сотрудник Института географии
им. В.Б. Сочавы СО РАН, к.г.н., г. Иркутск, elena@irigs.irk.ru

KARAVAEV V.A.

A staff scientist of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences,
candidate of science (Geography), Moscow, vadkaravaev@rambler.ru

VOSKOVA A.V.

A senior staff scientist of the Research and Design Institute of the General Plan of
Moscow, candidate of science (Geography), Moscow, avoskova@yandex.ru

ISTOMINA E.A.

A senior staff scientist of the V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian
Branch of the Russian Academy of Sciences, candidate of science (Geography), Irkutsk,
elena@irigs.irk.ru

Ключевые слова: долина реки Лъкези; опасные экзогенные процессы; интенсивность; ландшафт; рельеф; крутизна; растительность; природопользование.

Аннотация: статья посвящена опасным экзогенным процессам, протекающим в долине реки Лъкези, расположенной в Кабардино-Балкарской Республике на Центральном Кавказе. Выявлены виды и участки развития этих процессов в долине, оценена их интенсивность. Отмечены особенности традиционного местного природопользования.

Key words: Lkezy River valley; dangerous exogenic processes; intensity; landscape; relief; slope angle; vegetation; nature management.

Abstract: the article is dedicated to dangerous exogenic processes in the Lkezy River valley situated in the Kabarda-Balkar Republic in the Central Caucasus. The types and development areas of the processes in the valley are revealed, their intensity is assessed. The features of traditional local nature management are noted.

Одним из основных аспектов исследования горных ландшафтов является изучение их внутrigодовой и многолетней динамики, в формировании которой особое место занимают экзогенные процессы, протекающие с большой скоростью и представляющие угрозу для людей. Подобные процессы, независимо от присутствия людей на территории, подверженной их воздействию, относятся к опасным. К проявлениям этих процессов относятся сели, снежные лавины, обвалы, осыпи, оползни и т.д.

В последние десятилетия на европейской части территории России наметилась тенденция к увеличению годового количества осадков [3], что приводит к нестабильности перигляциальной зоны в среднегорьях и высокогорьях южных регионов России. При сохранении этой тенденции в ближайшие годы следует ожидать активизации опасных экзогенных процессов, что определяет важность их изучения. Участки горных территорий, подверженных подобным процессам, можно выделять в особый тип комплексов, поскольку они обладают своими, отличными от фоновых, особенностями функционирования и динамикой.

Данная статья посвящена исследованию опасных экзогенных процессов в долине реки Лъкези — притока второго порядка реки Черек Балкарский. Полевые работы проводились в августе 2011 и 2012 годов.

Исследования были направлены на решение следующих задач:

- 1) выявление видов опасных гравитационных склоновых процессов и участков, подверженных их воздействию;
- 2) оценка их интенсивности, периодичности и специфики проявления;
- 3) определение особенностей ландшафтной структуры участков проявления опасных экзогенных процессов по сравнению с участками, свободными от их воздействия;
- 4) составление крупномасштабной карты участков их проявления.

Методика исследования

По космическим снимкам и гипсометрической карте масштаба 1:25 000 была составлена предварительная карта-схема морфологических частей долины р. Лъкези с нанесением предположительных участков проявления исследуемых процессов. В дальнейшем при проведении полевых работ дешифрированные контуры были выверены. В камеральных условиях все контуры еще раз были проверены и уточнены с использованием материалов фотофиксации.

При выделении морфологических частей долины ее склоны были разделены на группы по крутизне¹ и экспозиции. Склоны разных экспозиций в среднем и верхнем течении различаются как по морфологии, так и по набору экзогенных процессов.

По результатам полевых работ были охарактеризованы состав и распреде-

ление терригенных отложений, их мощность, форма, а также географическая обстановка в бассейне р. Лъкези в целом.

Вдоль и поперек долины р. Лъкези были проведены маршрутные обследования с GPS-съемкой. Маршруты выбирались с учетом расположения конусов выноса, склоновых отложений, обвалов, незаметных на космических снимках участков проявления экзогенных процессов, а также возможностей осуществления непосредственных наблюдений как с близкого расстояния в точках описания природных территориальных комплексов, так и с обзорных точек с большой абсолютной высотой, в том числе с противоположного склона.

Интенсивность изучаемых процессов оценивалась по состоянию отложенного материала. Для этого участки их проявления исследовались на предмет появления свежих отложений и измерялись морфометрические показатели их элементов. Ценную информацию удалось получить и из бесед с местными жителями и людьми, по роду работы регулярно бывающими на изучаемой территории — сотрудниками заповедника, пастухами, пограничниками.

На завершающем этапе была составлена цифровая карта базового масштаба 1:25 000 с выделением морфологических частей долины и участков проявления опасных процессов. В дальнейшем предполагается детализировать эту карту, дополнив ее более подробной информацией о местных природных территориальных комплексах.

Исследуемая территория

Река Лъкези впадает в р. Карасу, которая, сливаясь с р. Дыхсу, образует р. Черек Балкарский. Долина последнего от его верховий до села Верхняя Балкария, а также долины его истоков и притоков исследуются авторами начиная с 2009 года. Значительная часть

¹ При дифференциации склонов по крутизне была принята классификация Н.Л. Беручашвили [1] с обобщениями.

бассейна Черека Балкарского и его притоков находится в границах Кабардино-Балкарского высокогорного заповедника. Верхнюю часть его долины и прилегающих к ней долин рек Карасу, Ахсу, Ортозюрек и Лъкези жители села Верхняя Балкария используют для выпаса скота.

Долина Черека Балкарского представляет собой узкий трог с ясно выраженным в рельефе плечом и низвергающимися сверху боковыми притоками, с большим уклоном и ступенчатостью продольного профиля приустьевой части русла. По низовьям боковых притоков в большинстве случаев периодически сходят сели и лавины [4]. В геологическом отношении исследуемая территория имеет сводово-глыбовое строение и сложена гранитами, гнейсами и кристаллическими сланцами².

Троговая долина р. Лъкези расчленяет северный склон Главного Кавказского хребта на две части. Восточная часть представляет собой хребет с вершинами высотой до 3319,7 м (г. Каласирт), являющийся водоразделом между долинами рек Лъкези и Карасу. Западная часть, проходящая через вершины высотой до 3689 м (г. Шаритау), отделяет долину Лъкези от ледников Агаштан и Фытнаргин.

Река Лъкези начинается из ледника Штулу Западный, который в последние десятилетия устойчиво отступает. На конце ледника ледяной грот отсутствует, имеются многочисленные трещины. В верховьях и средней части (на расстоянии около 4 км от ледника) река течет с юго-востока на северо-запад по достаточно широкой относительно низовой долине с узкой (12–30 м) поймой. В среднем течении она поворачивает сначала на север и протекает в каньоне, далее — на северо-восток. Далее р. Лъкези протекает по узкой долине, которая расширяется только близ ее впадения в р. Карасу. Русло в нижней части долины имеет ступенчатый продольный профиль и сильно наклонено (на 45° и более) в сторону уреза воды в р. Карасу.

В высокогорной части бассейна р. Лъкези развиты каровые экзарационные, аккумулятивные древние и современные ледниковые, нивальные, солифлюкционные, а также и гравитационные морфоскульптуры (осыпи, обвалы, лавинные прочесы). В средних и нижних частях склонов, пойме реки сосредоточены флювиогляциальные, ледниковые аккумулятивные, аллювиальные и флювиальные морфоскульптуры. На высоте около 200–250 м над урезом воды в р. Лъкези прослеживаются остатки древних морен. В большинстве случаев следует ожидать, что их отложения будут иметь поздние и среднеплейстоценовый возраст, так как в период углубления троговых долин, про-



Рис. 1. Долина реки Лъкези в ее верхнем течении

исходившего в позднем плейстоцене, следы раннеплейстоценового оледенения были утрачены.

Растительный покров, описанный во время полевых работ, представлен преимущественно субальпийскими лугами и высокотравьем, зарослями можжевельников и рододендрона кавказского, приуроченными в основном к склонам горных хребтов. Древесная растительность имеется лишь в приустьевой части долины и представлена злаково-разнотравным березовым криволесьем с рододендроном кавказским. Для несомкнутого растительного покрова на гравитационных отложениях, крутых и обрывистых поверхностях скал характерно широкое распространение рыхлодерновинных и подушкообразных растений, лишайников и мхов, а также участие типичных для альпийского пояса кустарничков. В наиболее увлажненных местах под крупными валунами произрастают микрогруппировки папоротников (*Polypodium vulgare* и *Asplenium trichomanes*), можжевельники (*Juniperus communis* и *Juniperus sabina*), рододендрон кавказский. В верхней части склона субальпийский луг постепенно переходит в альпийский, а на отдельных участках — в альпийскую пустошь.

Юго-западный склон долины р. Лъкези (рис. 1) расчленен слабо. Средняя и верхняя части склона являются крутыми (30–45°) или имеют среднюю крутизну (20–30°). В нижней части склона, примыкающей к пойме реки, преобладают пологие (10–20°) и покатые (4–10°) поверхности. Привершинная часть склона на отдельных участках выполаживается. В соседнюю долину реки Карасу с этого скло-

на ведет скотогонная тропа. Данный склон прогревается лучше, чем северо-восточный, на нем весной быстрее сходит снег, и он удобней для выпаса. Выпас овец в долине р. Лъкези производится в основном в окрестностях кошары с загонem для животных. Растительность на участке около кошары значительно отличается от прилегающих частей луга преобладанием нитрофильных видов. Для отдельных участков склона типична тропинчатая эрозия слабой интенсивности.

В целом очевидно, что долина р. Лъкези при существующем режиме выпаса не подвергается чрезмерным пастбищным нагрузкам, о чем свидетельствует состояние растительного покрова. Субальпийский луг образуют костер пестрый, овсяница пестрая, катаброзела пестрая, тимфеевка альпийская, тимфеевка степная, манжетка кавказская, лапчатка весенняя, сибальдия простертая, скабиоза кавказская, буквица крупноцветковая, чабрец, тысячелистник, брусника, очанка, горечавка семирассеченная, колокольчик трехзубчатый, несколько видов осок, язвенник обыкновенный и др. За исключением редких групп рододендрона и березового криволесья, в приустьевой части долины древесная растительность вдоль берега Лъкези отсутствует. В целом для склона фитомасса растительного покрова оценена в 1,5–2,0 т/га.

Северо-восточный склон долины р. Лъкези расчленен значительно сильнее (рис. 2). Для него характерны чередование пологих и крутых участков, скальные гребни. Верхняя часть покрыта ледниками с вытекающими из них водотоками, по которым могут сходить микросели. По микроклиматическим

² На подготовительном этапе типы грунтов определялись по карте [2], а во время полевого этапа — визуально.



Рис. 2. Селевой конус на северо-восточном склоне долины Лъкези

условиям этот склон более холодный и влажный, чем противоположный. Пойма и заросшие конусы выноса в его нижней части используются для выпаса крупного рогатого скота. Наряду с субальпийскими лугами на этом склоне распространены заросли можжевельника и рододендрона, субальпийское высокоотравье, обычными видами которых являются костер пестрый, вейник тростниковидный, скабиоза бледно-желтая, горец альпийский, буквица крупноцветковая, горечавка семирздельная, аконит носатый, василистник малый, астранция, чемерица Лобеля.

Вдоль нижнего участка русла расположено березовое криволесье с рододендром кавказским и малиной в подлеске и злаково-разнотравным травяным покровом из вейника, мятлики лесного, коচেжника альпийского, аконита. Фитомасса субальпийского высокоотравья составляет не менее 6 т/га, а фитомасса зарослей рододендрона, можжевельника и березового криволесья превышает 8 т/га. Для зарослей рододендрона и можжевельника типичны вороника, брусника, реже черника, мхи птилиум гребенчатый, гилокомиум блестящий, политрихум волосконосный,

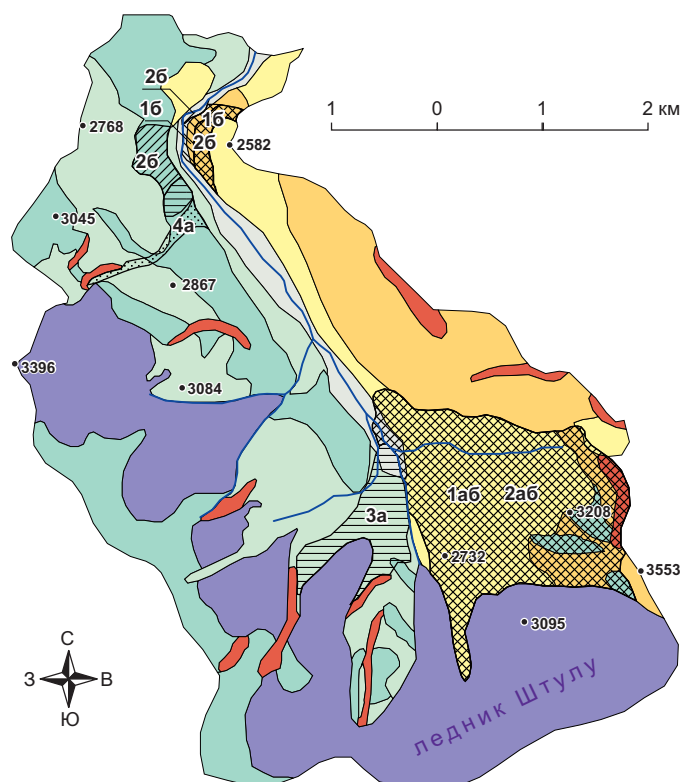
дикранум метловидный, ритидиум морщинистый, на обломках и валунах — лишайники родов *Rhizocarpon*, *Cetraria*, *Cladonia*, *Thamnolia*, *Xanthoria*.

Результаты исследования

В пределах долины р. Лъкези можно выделить два больших участка развития опасных экзогенных процессов. Они показаны на составленной авторами крупномасштабной карте (рис. 3). Помимо этих двух участков были описаны отдельные небольшие по площади комплексы терригенных отложений (по большей части осыпи), однако в избранном базовом масштабе карты их отразить трудно.

Первый, наиболее обширный, участок проявлений опасных процессов расположен у истоков р. Лъкези в приледниковой зоне ледника Штулу Западный. Второй, значительно меньший по площади, находится в месте поворота русла р. Лъкези с северо-запада на северо-восток.

Приледниковая зона отличается высокой активностью склоновых процессов (рис. 4), границы проявлений которых «маркируются» моренными отложениями. Особенно четко это видно на северной границе данной зоны. В восточном сегменте этого участка отмечаются осыпи и обвалы средней и в меньшей степени слабой интенсивности. Несмотря на явно частое и регулярное их проявление и большую крутизну склона в восточной части приледниковой зоны, крупных скоплений материала, которые свидетельствовали



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Участки развития опасных экзогенных процессов:

- 1 Осыпи
- 2 Обвалы
- 3 Оползни
- 4 Сели

Интенсивность проявления экзогенных процессов:
а – слабая, б – средняя, в – высокая

Морфологические части долины:

- Пойма
- Юго-западный склон:
 - 1aб пологие участки
 - 2aб крутые участки
- Северо-восточный склон:
 - 3a пологие участки
 - 4a крутые участки
- Ледники
- Скалы

Рис. 3. Карта опасных экзогенных процессов в долине р. Лъкези

бы о больших объемах перемещенных масс, обнаружено не было. В западном сегменте отмечаются слабые оползни. Этому способствуют как меньший уклон, так и характер отложений.

Второй участок, расположенный в месте поворота русла р. Лъкези, отличается высокой активностью опасных процессов из-за сильного сужения долины (рис. 5), которая в верхнем и среднем течении реки является широкой и пологой. На крутом узком склоне развиваются обвалы, оползни и осыпи высокой интенсивности, перемещающие большие массы материала. Участок склона, полукруглый в плане и огибаемый рекой, носит ступенчатый характер. В верхней, крутой, части осыпи и обвалы имеют среднюю интенсивность проявления. Как уже отмечалось, границы отдельных небольших по площади участков проявлений опасных процессов на карте не отражены. Так, в нижней, более пологой, части склона расположены две осыпи, однако морфометрические показатели³ не позволили отобразить их на карте масштаба 1:25 000 по отдельности.

На левом берегу выделяется участок длиной около 1 км с активными обвалами средней и слабой интенсивности. Вместе с тем у его подножия имеется выположенный участок длиной 350–400 м, свободный от влияния опасных процессов.

К обвальному склону с юго-востока почти примыкает селевая или селево-лавинная геосистема с плоским, но все же ясно читающимся в рельефе старым конусом. По руслу этого комплекса раз в несколько лет сходят слабые сели. По предположениям авторов селеносными могли бы быть два ручья, питаемые ледниками и расположенные на правом берегу. Однако селевые отложения в их устьях не обнаружены, поэтому в качестве селевых комплексов бассейны этих ручьев на карте не выделены.

Помимо развития отмеченных процессов во многих местах долины в зимнее время сходят снежные лавины, однако на текущем этапе исследований долины р. Лъкези они не изучались, поэтому на карте они не фигурируют.

Выводы

1. В долине р. Лъкези выявлены два участка развития опасных экзогенных процессов — в приледниковой зоне ледника Штулу Западный и в месте сужения долины у поворота русла реки с северо-запада на северо-восток.

2. Для приледниковой зоны характерны обвалы, осыпи и оползни средней и слабой интенсивности. Для зоны, расположенной в месте сужения долины, — обвалы и осыпи средней и высокой (на участке обрывистого склона) интенсивности.



Рис. 4. Приледниковая зона развития опасных экзогенных процессов



Рис. 5. Участок высокой активности опасных гравитационных процессов в месте сужения долины

3. Северо-восточный склон долины р. Лъкези отличается большей интенсивностью и наиболее широким распространением опасных экзогенных процессов, что обусловлено большими площадью оледенения и расчленением рельефа.

4. Вследствие экспозиционных различий и большего увлажнения растительный покров северо-восточного склона более разнообразен в ценоотическом отношении и занимает большую площадь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беруцашвили Н.Л. Методика ландшафтно-географических исследований и картографирование состояний природно-территориальных комплексов. Тбилиси: Изд-во Тбилисского гос. ун-та, 1983. 200 с.
2. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:500 000. М.: Мингео СССР, 1978.
3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2010 году». М.: Минприроды РФ, 2010. 571 с.
4. Караваев В.А., Воскова А.В. Селевые ландшафтно-геоморфологические системы долин Черка Безенгийского и Черка Балкарского // Геоморфологические системы: свойства, иерархия, организованность / отв. ред. Э.А. Лихачева. М.: Медиа-ПРЕСС, 2010. С. 159–171.
5. Эрозия почв и сели в Кабардино-Балкарии / под ред. Н.И. Маккавеева. Нальчик: Эльбрус, 1970. 80 с.

³ Осыпь, расположенная выше по течению, имеет длину около 30 м, а осыпь ниже по течению — около 15 м. Их высота — примерно по 30 м.



Саморегулируемая организация
**Ассоциация
Инженерные изыскания
в строительстве**



В СРО «АИИС» входят около 2000 организаций из 83 регионов России, а также компании из Белоруссии, Украины, Норвегии, Англии, Турции и США. Среди организаций-участниц АИИС — ведущие отраслевые вузы и университеты, выпускающие специалистов профильных специальностей, крупные российские компании.

Ведется выдача свидетельств о допуске к работам по выполнению инженерных изысканий в строительстве, в том числе к работам на особо опасных, технически сложных и уникальных объектах капитального строительства, объектах использования атомной энергии.

КРУПНЕЙШАЯ ИЗЫСКАТЕЛЬСКАЯ СРО В РОССИИ

Документы на вступление в Ассоциацию принимаются в исполнительной дирекции в Москве и в филиалах в следующих городах:

Санкт-Петербург, Измайловский проспект, дом 4, (комнаты 222, 414).

Тел.: +7 (812) 575-37-85, 316-61-18. E-mail: spb@oaiis.ru.

Ростов-на-Дону, ул. Греческого города Волос, дом 6.

Тел.: +7 (863) 201-28-54, 242-44-60. E-mail: rostov@oaiis.ru.

Краснодар, ул. Котовского, дом 42.

Тел.: +7 (861) 216-82-33; факс: +7 (861) 277-31-69. E-mail: krasnodar@oaiis.ru.

Самара, ул. Ново-Садовая, дом 18, комнаты 3, 4.

Тел.: +7 (846) 337-16-99, 337-16-99. E-mail: samara@oaiis.ru.

Уфа, ул. Лесотехникума, дом 16/1, каб. 5.

Тел.: +7 (347) 279-04-54. E-mail: ufa@oaiis.ru.

Пермь, ул. Куйбышева, дом 52.

Тел.: +7 (342) 239-33-73, 239-31-12. E-mail: perm@oaiis.ru.

Тюмень, : ул. Луначарского, дом 28.

Тел.: +7 (3452) 42-23-90. E-mail: tumen@oaiis.ru.

Томск, ул. Пушкина, дом 40/1.

Тел.: +7 (3822) 66-05-49. E-mail: tomsk@oaiis.ru.

Владивосток, ул. Пограничная, дом 15а.

Тел.: +7 (423) 261-32-24, 265-34-84. E-mail: dv@oaiis.ru.

Воронеж, ул. Белинского, дом 21.

Тел.: +7 (473) 269-57-28. E-mail: voronezh@oaiis.ru.



Москва 105187, Окружной проезд, дом 18.

Тел./факс: +7 (495) 228-08-68.

E-mail: mail@oaiis.ru. **Web:** www.oaiis.ru, www.aiis.pф



ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Принимаются оригинальные статьи по широкой тематике выявления, оценки, прогнозирования и управления геологическим риском от различных опасных природных, техно-природных и техногенных процессов, а также статьи по методике и методам оценки геологического риска при инженерных изысканиях под строительство различных инженерных сооружений, отечественной и зарубежной практике оценки риска, оценке экологической опасности от различных негативных геологических процессов, совершенствованию нормативно-правовой базы оценки геологического риска.

- Статьи принимаются в печатном или электронном виде (по электронной почте) объемом до 1 авторского листа (40 тыс. печатных знаков с пробелами или 10–12 страниц текста, набранного на компьютере и напечатанного шрифтом 12-го кегля с одиночным интервалом).
- Статьи сопровождаются аннотациями (до 100–150 слов) на русском и английском языках, а также списком ключевых слов (5–10 слов) также на русском и английском языках.
- Название статьи, фамилия и инициалы автора даются на русском и английском языках.
- Фамилия автора сопровождается должностью, местом его работы и электронным адресом.
- Структура статьи должна по возможности включать введение (цель, задачи работы), методику (методы) исследования, характеристику объекта исследования, результаты и выводы (заключение).
- Статья сопровождается списком цитируемой литературы, оформленным в соответствии с ГОСТ 7.1-2003, составленным по алфавиту (сначала русский, затем иностранный).
- Ссылки на литературу в статье даются по номерам алфавитного списка в квадратных скобках, например, (2), (4–6) и т.п.
- Рисунки (цветные или черно-белые фотографии, штриховые рисунки, диаграммы, графики и т.п.) принимаются в электронном виде в формате jpeg, tiff или eps с разрешением не менее 300 пикселей на дюйм (или 300 dpi). Цветные карты принимаются с разрешением не менее 600 dpi.
- Рисунки сопровождаются подрисовочными подписями и нумерацией.
- Размерность физических величин и параметров дается в системе СИ.
- Таблицы сопровождаются названиями и нумерацией.
- Статьи проходят обязательное внутреннее и внешнее рецензирование, техническую редакцию, после чего автору высылается верстка для окончательной проверки.
- После публикации статьи в журнале автору высылается по e-mail электронная версия опубликованной статьи в формате pdf. После выхода номера в свет автор может бесплатно получить в редакции до трех экземпляров журнала.
- С аспирантов плата за статьи не взимается.

Адрес редакции:

105187, Москва, Окружной проезд, д. 18.

Тел./факс: +7 (495) 366-2684, 366-2095.

E-mail: geo@pniis.ru





Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий

*Люди,
которые всегда готовы
прийти на помощь*



МЧС России:
109012 г. Москва, Театральный пр., 3
(495) 626-39-01
info@mchs.gov.ru